



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH NOVÉHO DESIGNU A VÝROBY KOMPONENTY
NÍZKOTLAKÉHO VÝVODU**

A NEW DESIGN AND TECHNOLOGY OF THE LOW-PRESSURE OUTPUT PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Sláma

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. David Sláma**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce: **prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh nového designu a výroby komponenty nízkotlakého vývodu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozborem stávající situace spojeným s využitím dat získaných sledováním procesu navrhnout nový design komponentu vysokotlakého zásobníku. Pomocí experimentu definovat parametry pro odporové svařování tohoto vývodu. Provést technicko-ekonomické zhodnocení přínosu.

Cíle diplomové práce:

1. Teoretický rozbor systému Common Rail.
2. Zmapování současného stavu.
3. Návrh nového designu nízkotlakého vývodu.
4. Koordinace a příprava vzorků pro testování.
5. Nalezení parametrů pro experimentální odporové svařování.
6. Technicko-ekonomické vyhodnocení.
7. Diskuse výsledků.

Seznam literatury:

SHIGLEY J.E., MISCHKE, CH.R., BUDYNAS, R.G., HARTL, M., VLK, M. Konstruování strojních součástí. Vysoké učení technické v Brně, VUT IUM, 2010. ISBN 8021426292.

BARÁNEK, I. Rezné materiály pre rýchlostné, tvrdé a suché obrábanie. TU Alexandra Dubčeka v Trenčíne, 1.vyd., Slovensko, Trenčín, s. 112. ISBN 80-8075-013-0.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.

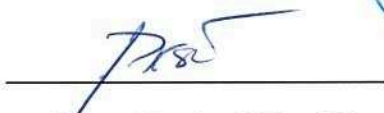

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Praha. MM publishing s.r.o. 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu I. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, tisk FINAL TISK Olomoučany, 2001, 1. vyd., 516 s. ISBN 80-7204-193-2.

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu II. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, tisk FINAL TISK Olomoučany, 2001, 1. vyd., 360 s. ISBN 80-7204-130-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 6. 11. 2016

		
prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.		doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
ředitel ústavu		děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této práce je návrh nového designu a výroby nízkotlakého vývodu vysokotlakého zásobníku paliva vyráběného společností BOSCH DIESEL s.r.o. V práci je detailněji proveden rozbor ohybové trhací zkoušky, která je součástí kontroly kvality svarového spoje nízkotlakého vývodu. V další části práce je navržený postup výroby této komponenty, po kterém následuje experimentální nalezení svařovacích parametrů pro odporové svařování. Následně je provedeno svaření několika kusů, které jsou změřeny a otestovány. Výsledky jsou porovnány s požadavky zákazníků. Na závěr je provedeno technicko-ekonomické vyhodnocení provedené změny, která společnosti ušetří nemalé finanční prostředky.

Klíčová slova

Common rail systém, ohybová trhací zkouška, návrh nízkotlakého vývodu, odporové svařování, svařovaný rail

ABSTRACT

The aim of this work is make a new design and technology of the low-pressure output part of rail which is made in BOSCH DIESEL s.r.o. company. In the thesis is analyzed in detail the bending test, which is part of the quality control of the low-pressure welding joint. In the next part of the thesis is proposed the process of machining of this component, followed by experimental finding of welding parameters for resistance welding. Then several pieces are welded, which are measured and tested. The results of this tests are compared with customer requirements. Finally, a technical and economic evaluation of the change is made, which will save a considerable amount of money for the company.

Key words

Common rail systém, bend test, design low-pressure output, resistance welding, laser welded rail

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SLÁMA, David. *NÁVRH NOVÉHO DESIGNU A VÝROBY KOMPONENTY NÍZKOTLAKÉHO VÝVODU*. Brno 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 63 s. 4 přílohy. prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh nového designu a výroby komponenty nízkotlakého vývodu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. David Sláma

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. z VUT Brno a panu Ing. Radku Attáskovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval kolegům ze společnosti BOSCH DIESEL s.r.o. v Jihlavě, především Tomáši Bartuškovi, který se podílel na experimentální části této práce. V neposlední řadě také děkuji své rodině a přítelkyni za podporu a trpělivost v průběhu studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	10
1 Společnost Bosch group.....	11
1.1 Obchodní oblasti a divize.....	11
1.1.1 Mobility Solutions	12
1.1.2 Průmyslová technika.....	12
1.1.3 Spotřební zboží	12
1.1.4 Energetika a technika budov	13
1.2 Historie společnosti.....	13
1.3 Společnost Bosch v ČR.....	15
1.4 BOSCH DIESEL s.r.o.Jihlava	16
1.5 Produkty vyráběné v Jihlavě	17
1.5.1 Nejstarší výrobky	17
1.5.2 Vysokotlaké čerpadlo CP3.....	18
1.5.3 Vysokotlaké čerpadlo CP4.....	18
1.5.4 Vysokotlaké čerpadlo CPN5.....	19
1.5.5 Vysokotlaký regulační ventil DRV.....	20
1.5.6 Vysokotlaký zásobník paliva – rail.....	20
2 Systém common rail	21
2.1 Nízkotlaká část systému Common Rail	22
2.2 Vysokotlaká část systému Common Rail.....	22
2.3 Vstřikovače a řídicí jednotka	23
2.4 Klady a zápory systému Common Rail.....	24
3 Vysokotlaký zásobník paliva – rail.....	26
3.1 Popis railu.....	26
3.2 Výroba Railu	26
3.2.1 Kovaný rail	26
3.2.2 Obrábění svařovaného railu	28
3.2.3 Svařování railu.....	29
3.3 Stanice odporového svařování	31
3.4 Pracoviště metalografické zkoušky.....	32

3.5	Ohybová trhací zkouška	34
3.6	Výpočet vnitřních výsledných účinků, redukovaného napětí a posunutí při zkoušce ohybem.....	35
3.6.1	Výpočet VVÚ	36
3.6.2	Působení osamělé síly	36
3.6.3	Působení liniového zatížení	37
3.6.4	VVÚ v průběhu působení liniového zatížení.....	39
3.6.5	Výpočet redukovaného napětí	40
3.6.6	Výpočet posunutí	41
3.7	Kontrola výpočtů pomocí počítačového softwaru	45
3.8	Výsledek ohybové trhací zkoušky	45
4	Současný stav svařování ND vývodu	47
4.1	Historie tohoto typu ND vývodu.....	47
4.2	Proces svařování a kontroly ND vývodu	48
5	Návrh nového designu a výroby ND vývodu	49
5.1	Hledání příčiny zúženého svaru	49
5.2	Návrh nového designu ND vývodu.....	50
5.3	Výroba ND vývodu	50
5.3.1	Postup obrábění ND vývodu.....	51
5.3.2	NC program	52
6	Experimentální určení parametrů odporového svařování	54
6.1	Příprava vzorků	54
6.2	Provedení experimentu.....	54
6.2.1	Závislost svařovacího času při odporovém svařování	55
6.2.2	Závislost svařovacího proudu při odporovém svařování	55
6.2.3	Závislost tlaku při odporovém svařování.....	56
6.2.4	Závěrečná část experimentu.....	57
7	Technicko-ekonomické vyhodnocení	60
7.1	Snížení výpadků procesu.....	60
7.2	Časová úspora	60
7.3	Úspora nákladů nových svařovacích elektrod.....	60
7.4	Časová úspora výměny elektrod a opětovného uvolnění	60
7.5	Časové využití dělníka	60
7.6	Celková úspora.....	61
7.7	Náklady na výrobu ND vývodu s novou konstrukcí	61

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	9
---------	-----------------	------	---

8	Diskuse výsledků	62
8.1	Výsledky výpočtů ohybové trhací zkoušky	62
8.2	Výsledky experimentu	62
8.3	Úspora	62
	ZÁVĚR	63
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	64
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	66
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

V dnešní době je kladen velký důraz na životní prostředí. Tento fakt se dotýká i automobilového průmyslu. Automobily musí splňovat vysoké nároky kladené na množství emisí a škodlivých látek vypouštěných do ovzduší. Jedním z faktorů, kterými lze tohoto cíle dosáhnout, je výše spotřeby. Čím je spotřeba nižší, tím se snižuje i množství spalín. Jednou z možností, jak dospět k požadovaným limitům, je zvýšení efektivity spalování. Toho jde dosáhnout tak, že se zvýší vstřikovací tlaky paliva. To je důvodem, proč se výrobci součástí motorů stále snaží vyvinout novější a efektivnější řešení.

Dalším aspektem dnešní doby je optimalizování výroby tak, aby bylo ušetřeno co nejvíce pracovních sil a výroba byla rychlejší, přesnější a ekonomičtější. Optimalizovat proces však není jen tak. Primárně se musí celý pracovní proces sledovat, aby bylo možné identifikovat jeho nejproblematictější místo. Mnohé firmy proto obměňují svoje stávající výrobní stroje za novější a dokonalejší, které lépe vyhovují požadavkům výroby daných produktů, jsou výkonnější a přesnější. V některých případech je problém pouze ve výrobním postupu. Tyto věci jsou zjištěny právě sledováním výrobního procesu.

Smyslem optimalizace a zdokonalování technologií je zvýšení efektivní a ekonomické stránky podniku. To napomáhá firmě v dalším rozvoji a lepší konkurenceschopnosti na výrobním trhu.

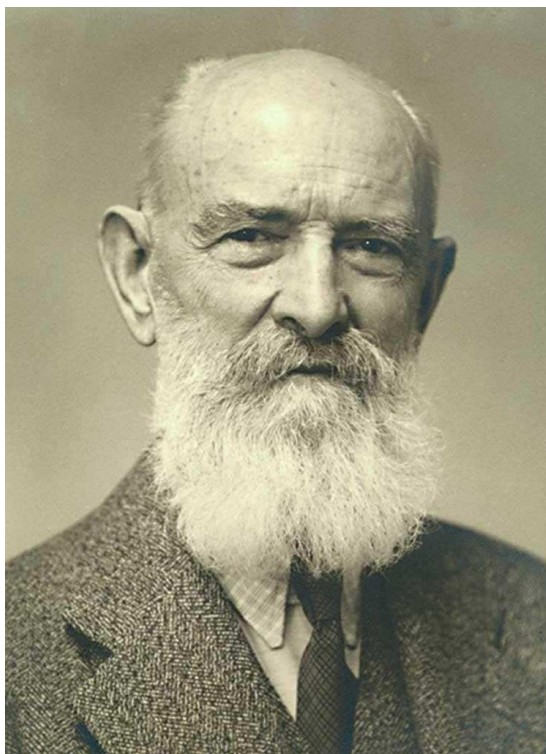
Jednou z firem, která vyrábí součásti motorů pro automobilový průmysl, je společnost Bosch. Tato německá firma s více než stoletou historií je jednou z největších na dnešním trhu a je synonymem vysokého standardu a kvality. Jejím hlavním produktem je systém Common Rail, který je používán ve vznětových motorech. Jedním z hlavních výrobních závodů tohoto systému je BOSCH DIESEL s.r.o. v Jihlavě, který je dceřinou firmou koncernu Bosch v České republice.

Jednou z hlavních částí systému Common Rail je vysokotlaký zásobník paliva, tzv. rail, který se v jihlavském závodě vyrábí ve dvou formách a to jako rail kovaný nebo svařovaný. Rozdíly budou popsány v další části této práce. Svařovaný rail se skládá z polotovaru válcované obrobené trubky a dalších prvků, které jsou na tento polotovar navařeny odporově nebo laserovým paprskem. Mezi tyto komponenty patří i nízkotlaký ventil, který se k trubce odporově přivaří.

Tato práce je vyhotovena na požadavek firmy BOSCH DIESEL s.r.o. a jejím předmětem je návrh nového designu nízkotlakého vývodu. Cílem bude sledování stávajícího procesu a zjištění problému, který zapříčiňuje jeho nestabilitu. V dalším kroku bude navržen nový design komponentu. Svařovací parametry pro nový nízkotlaký vývod budou zjištěny experimentálně. V závěru práce bude provedeno technicko – ekonomické vyhodnocení. Celá práce bude probíhat ve spolupráci s touto jihlavskou společností.

1 SPOLEČNOST BOSCH GROUP

Dne 15. listopadu 1886 získal Robert Bosch (1861-1942, viz obr. 1.1), oficiální povolení k otevření své „dílny pro jemnou mechaniku a elektrotechniku“ ve Stuttgartu [1].



Robert Bosch se vždy držel zásady: „Raději bych přišel o peníze než o důvěru.“

Obr. 1.1 Robert Bosch [1].

Bosch Group je jedním z hlavních mezinárodních dodavatelů nejen technologií, ale také služeb. Celý koncern je tvořen společností Robert Bosch GmbH a přibližně 450 dceřinými a regionálními firmami ve více než 60 zemích světa. K datu 31. 12. 2016 měla po celém světě 390 000 zaměstnanců. Tržby z loňského roku 2016 dosáhly podle předběžných výsledků hodnotu 73,1 miliard eur. Z důvodu inovací a zlepšení investuje společnost výraznou část peněz také do vývoje, který je nezbytný pro budoucí růst firmy a konkurenceschopnost. Tyto náklady činily za minulý rok 6,6 miliard eur, které se rozdělily do 120 lokalit pro 59 000 pracovníků v oblasti výzkumu a vývoje [1].

1.1 Obchodní oblasti a divize

Činnost společnosti Bosch Group je velmi rozmanitá a dělí se do čtyř obchodních oblastí. Mezi tyto oblasti patří [1]:

- Mobility Solutions,
- průmyslová technika,
- spotřební zboží,
- energetika a technika budov.

1.1.1 Mobility Solutions

Oblast Mobility Solutions je tvořena divizemi:

Automobilová technika – aftermarket, která poskytuje zákazníkům kompletní spektrum diagnostického a opravárenského vybavení a širokou škálu náhradních dílů pro opravu osobních i užitkových vozidel od společnosti Bosch. Také nabízí diagnostický software, školení, informační služby a navíc zodpovídá za jeden z největších řetězců nezávislých servisů na světě „Bosch Car Service“ [1].

Automobilová elektronika – vývoj, výroba a prodej mikroelektroniky nejen pro automobilový průmysl. Mezi další činnosti patří integrace systémů a vozidlové aplikace [1].

Car Multimedia – vyvíjí a vytváří inteligentní řešení systémů, zvyšujících bezpečnost a pohodlí jízdy. Důraz je kladen nejen na potřeby řidiče, ale i na snížení spotřeby energie. Efektivní integrace zábavy, telematiky a asistenčního systému ve vozidle [1].

Podvozkové systémy – vývoj a výroba inovativních výrobků, systémů a funkcí v oblasti pohodlné jízdy a aktivní bezpečnosti [1].

Diesellové systémy – toto odvětví vyvíjí, vyrábí a aplikuje diesellové systémy tak, aby byla vozidla výkonnější a úspornější [1].

Elektrické pohony – zabývají se vývojem a výrobou mechatronických součástí a systémů pro karoserie. Díky novým řešením je zvýšen komfort funkcí [1].

Benzínové systémy – díky propojení všech kompetencí bylo dosaženo toho, že dochází k vývoji kompletní pohonné jednotky pod jednou střechou. To napomáhá vývoji nových inovativních řešení [1].

Startéry a generátory – startéry pro zážehové a vznětové motory, úsporné start/stop systémy, generátory zajišťující bezpečné zásobování energií elektrické sítě vozidla [1].

Systémy řízení automobilů – zajišťuje společnost Robert Bosch Automotive Steering GmbH, která udává tempo a směr v oblasti systémů řízení pro osobní a užitková auta [1].

1.1.2 Průmyslová technika

Oblast zahrnující technologie řídicích a ovládacích systémů a obalovou techniku. Jedním z předních dodavatelů technologií pohonů a řízení pro strojírenskou, průmyslovou automatizaci a mobilní aplikace je společnost Bosch Rexroth. Mezi přední dodavatele v oblasti zpracovatelské a obalové techniky, kteří vyvíjí a vyrábí kompletní řešení pro farmaceutický, potravinářský a cukrárenský průmysl, je společnost Bosch, sídlící v německém Waiblingenu [1].

1.1.3 Spotřební zboží

Mezi tento typ zboží patří domácí spotřebiče, kterých Bosch vyrábí velké množství. To, že se spotřebiče této značky staly jedněmi z nejprodávanějších domácích spotřebičů v Evropě, je díky silnému zaměření na užitek a blízkému kontaktu se zákazníky. Dalším typem spotřebního zboží je elektrické nářadí, které je světovou jedničkou na trhu. Toto kvalitní nářadí je určeno jak pro domácí kutily, tak pro profesionály [1].

1.1.4 Energetika a technika budov

Tato oblast se zabývá zabezpečovacími systémy a termomechanikou. Mezi zabezpečovací systémy patří průmyslové televize, veřejné ozvučení a evakuační systémy, elektrická požární signalizace a konferenční systémy. Co se termomechaniky týče, tak do této oblasti spadají značky Buderus, Junkers, Dakon a Bosch Průmyslové kotle. Dále díky snaze využít potenciál obnovitelných zdrojů energie jsou v produktovém portfoliu taková zařízení, jako jsou tepelná čerpadla, kondenzační kotle a solární systémy, jejichž energeticky účinná řešení jsou slučitelná s životním prostředím [1].

1.2 Historie společnosti

Dne 15. listopadu 1886 bylo vydáno povolení k otevření „dílny pro jemnou mechaniku a elektroniku“ (viz obr. 1.2), která byla zprovozněna ve Stuttgartu. O rok později poprvé nainstalovali Robert Bosch a jeho společník Arnold Zähringer nízkonapětové magnetoelektrické zapalovací zařízení (viz obr. 1.3) do motorového vozidla, tříkolky De Dion-Bouton. Nedlouho poté začal být touto technologií zásobován rozvíjející se automobilový trh [1].



Obr. 1.2 Logo dílny pro jemnou mechaniku a elektroniku [1].



Obr. 1.3 Nízkonapětové magnetoelektrické zapalovací zařízení [1].

V roce 1898 byla založena první pobočka společnosti Bosch mimo Německo. Tato pobočka byla otevřena ve Velké Británii a fungovala jako prodejní kancelář pro výrobky Bosch. Roku 1902 bylo dodáno společnosti Daimler-Motoren-Gesellschaft první vysokonapětové magnetoelektrické zapalování (viz obr. 1.4). Tento systém vznikl inovací původního nízkonapětového, které fungovalo na principu pákového převodu pro vytváření jisker při odtrhu, a které vyžadovalo značnou údržbu a vykazovalo tendenci k závadám. V novém systému zapalování se tedy poprvé objevily zapalovací svíčky Bosch (viz obr. 1.5).



Obr. 1.4 Vysokonapěťové magnetoelektrické zapalovací zařízení [1].



Obr. 1.5 Zapalovací svíčka Bosch [2].

V následujících letech došlo k dalšímu rozšíření firmy po světě a to konkrétně do Paříže, kde byl vytvořen výrobní závod, a dále do Ameriky, kde byla založena společnost Robert Bosch New York Inc. Tato společnost dokázala získat zakázky, které měly hodnotu přes milion dolarů. Během první světové války nedocházelo k žádnému vývoji společnosti, ba naopak dopad na firmu byl nepříznivý [1,3].

Z kraje roku 1921 došlo k otevření servisního střediska pro instalaci a opravy světelných systémů. Tento servis byl otevřen v Hamburku a v dnešní době je takovýchto středisek po světě více než 15 000, známých pod názvem Bosch Car Service. Po 6 letech se započalo se sériovou výrobou vstřikovacích čerpadel nafty (viz obr. 1.6). Tato čerpadla byla vyráběna pro automobilku MAN, ale další zákazníci na sebe nedali dlouho čekat. Počátkem třicátých let dvacátého století už většina evropských výrobců zařadila tato čerpadla Bosch do svých nákladních automobilů a zemědělských strojů [1,3].



Obr. 1.6 Naftové vstřikovací čerpadlo [1].

Firma Bosch se v dalších letech začala rozrůstat a začaly vznikat nové divize, které se zaměřovaly na různá odvětví. Jedním z takových příkladů je divize termomechaniky. V roce 1932 došlo na Lipském obchodním veletrhu k úspěšnému představení vrtacího kladiva Bosch. Jen o rok později začala firma uvádět na trh lednice Bosch (viz obr. 1.7), které se od výrobků konkurence lišily hlavně nízkou spotřebou energie, oblým bubnovitým tvarem a relativně nízkou cenou [1].



Obr. 1.7 Lednice Bosch [1].

V roce 1942 zasáhla firmu velická ztráta. Dne 12. března 1942 došlo k úmrtí zakladatele firmy Roberta Bosche. Na jeho poslední cestě ho vyprovázely zvony vojenského kostela, které sám daroval [1].

Na Frankfurtském autosalonu v roce 1951 bylo představeno společností vstřikování benzínu pro dvoudobé zážehové motory. Vlivem přesného odměřování paliva došlo ke snížení spotřeby paliva o 20 procent a zvýšení výkonu o 4 koňské síly. Tento systém je předchůdcem elektronického systému vstřikování paliva řízeného tlakem Jetronic, používaného po celém světě [1].

Po těchto vynálezech následovaly ještě další. V roce 1976 byla zahájena výroba lambdasond. V dalších letech pak byly představeny systémy ABS, nezávislý navigační systém TravelPilot IDS, ESP. Roku 1997 byla představena výroba systému Common Rail, která byla dalším milníkem společnosti Bosch na cestě k ekologickým automobilům. Společnost se v roce 2000 vrátila k přímému vstřikování benzínu [1].

1.3 Společnost Bosch v ČR

Společnost Robert Bosch funguje na území České republiky od konce 19. století. V té době zde obchodovala s firmou Laurin&Klement. První oficiální pobočka společnosti Bosch byla otevřena v Praze v roce 1920. Od roku 1947 se ovšem spojení na 44 let přerušilo. To však bylo opět navázáno v prosinci 1991, kdy byla znovu zahájena činnost pobočky [3].

V dnešní době společnost Bosch Group zaměstnává v ČR 7650 zaměstnanců v několika dceřiných nezávislých firmách. Patří mezi ně společnosti, které se zabývají obchodními aktivitami, a těmi jsou Robert Bosch odbytová s.r.o., Bosch Termotechnika s.r.o, Bosch Rexroth s.r.o., a dále dceřiná firma Bosch-Siemens Hausgeräte GmbH, která obchoduje s domácími spotřebiči – BSH domácí spotřebiče s.r.o [1].

Na našem území se nacházejí i výrobní závody společnosti Bosch, které jsou rozmístěné po celé republice. V Jihlavě se nachází BOSCH DIESEL s.r.o., který se zabývá výrobou komponentů pro systém Common Rail. V Českých Budějovicích sídlí Robert Bosch, spol. s.r.o., zabývající se benzínovými systémy. V Brně nalezneme Bosch Rexroth s.r.o., který je zaměřen na hydraulické systémy a v Krnově a Albrechticích

je Bosch Termotechnika s.r.o., kde se vyrábí kotle Junkers, Dakon, Buderus a průmyslové kotle Bosch [1].

1.4 BOSCH DIESEL s.r.o. v Jihlavě

Tato společnost byla založena v Jihlavě 4. ledna 1993, ale už od října předchozího roku začala spolupráce společnosti Bosch Group s firmou Motorpal. To ovšem nejsou první počátky společnosti Bosch v Jihlavě. V roce 1927 totiž byl pány Josefem Poláčkem a Josefem Bindrem založen se souhlasem mateřského závodu servis, kde byly produkty firmy Bosch prodávány a opravovány. Z důvodů politických změn však bohužel došlo v roce 1948 k uzavření tohoto servisu [3,4].

Motorpal, statní podnik, který byl v Jihlavě založen v roce 1946, zabývající se výrobou vstřikovacího zařízení pro vznětové motory, ve spolupráci s firmou Bosch vybudovali roku 1993 na Humpolecké novou výrobní halu. V těchto prostorách se začalo vyrábět jednoválcové čerpadlo, které neslo označení PFM (viz obr. 1.8). BOSCH DIESEL s.r.o. v roce 1996 odkoupil podíl firmy Motorpal a stal se tak jediným vlastníkem. Začalo docházet k dynamickému rozvoji firmy. Další výrobní hala na sebe nedala dlouho čekat, a tak došlo k vybudování závodu II-Dolina a roku 2008 byl postavený a otevřený nový závod III-Pávov. Tato výrobní hala je jednou z největších na světě v rámci společnosti Bosch. Přes to, že měl BOSCH DIESEL s.r.o. v začátcích pouze 160 zaměstnanců, se stal postupně celosvětově největším výrobním závodem skupiny Bosch pro vstřikovací systémy Common Rail. Do současné doby skupina Bosch investovala do jihlavského závodu více než 850 milionů eur. Dnes zaměstnává společnost BOSCH DIESEL s.r.o. 4400 zaměstnanců a je tak největší zaměstnavatel a investor v kraji Vysočina [1,3].



Obr. 1.8 Jednoválcové čerpadlo PFM [5].

Společnost BOSCH DIESEL s.r.o. vyrábí ve svých závodech komponenty pro diesellový vstřikovací systém Common Rail. Tyto produkty jsou dodávány po celém světě mnoha významným automobilovým závodům [1].

Produkty vyráběné společností BOSCH DIESEL s.r.o. [1,3]:

- jednoválcové čerpadlo PFM, čerpadlo VP30 a čerpadlo PE (tyto produkty se již nevyrábí),
- čerpadlo CP1 (Výroba v Jihlavě ukončena v roce 2004),
- čerpadlo CP1H (Výroba v Jihlavě ukončena v roce 2011),
- čerpadlo CP3,
- čerpadlo CP4,
- čerpadlo CPN5,
- tlakové zásobníky,
- regulační tlakové ventily DRV,
- sériové opravy vstřikovacích systémů.

1.5 Produkty vyráběné v Jihlavě

1.5.1 Nejstarší výrobky

Nejstarším produktem, který se v Jihlavě vyráběl, bylo jednoválcové čerpadlo PFM. Nedlouho poté se začalo s výrobou vstřikovacího rotačního čerpadla VP30 (viz obr. 1.9) a také řadového čerpadla PE (viz obr. 1.10). Všechny tyto produkty se v jihlavském závodě již přestaly vyrábět a byly nahrazeny modernějším a výkonnějším systémem Common Rail. Ten, kromě toho, že je výkonnější, má menší dopad na životní prostředí a je k němu šetrnější. Jeden z prvních výrobků, který byl součástí tohoto systému, bylo vysokotlaké čerpadlo typu CP1H. Okruh s tímto čerpadlem pracuje při tlacích 1350 a 1600 barů a jednotlivé součásti jsou promazávány palivem. Ani jeden z těchto výše zmíněných produktů už se v závodech v Jihlavě nevyrábí, přesto je stále prováděn jejich servis [3,4].



Obr. 1.9 Rotační čerpadlo VP30 [5].



Obr. 1.10 Řadové čerpadlo PE [5].



Obr. 1.11 Vysokotlaké čerpadlo CP1H – 1 [6]. Obr. 1.12 Vysokotlaké čerpadlo CP1H – 2 [6].

1.5.2 Vysokotlaké čerpadlo CP3

Vysokotlaké čerpadlo CP3, které je součástí systému Common Rail, spadá do druhé generace. Čerpadla CP3 (viz obr. 1.13) pracují s tlaky 1600 barů a mazání vlastních částí čerpadla probíhá pomocí paliva nebo vlastního olejového okruhu. V době, kdy tento produkt dosahoval nejvyšší poptávky, byly na závodě III-Pávov čtyři montážní linky. V dnešní době se zde nachází pouze 2 linky, které byly nedávno inovované. Jelikož nároky jsou stále vyšší, postupně docházelo k novým technickým opatřením. Byly optimalizovány linky, došlo k použití nových technologií a také k novému layoutu stanic. Touto optimalizací bylo docíleno zvýšení produkce a snížení počtu obsluhy na jednotlivých linkách. Do výrobních linek byly zapracovány samostatné procesy, jako je výroba sacích a přepadových regulačních ventilů [3,4].

1.5.3 Vysokotlaké čerpadlo CP4

Vysokotlaké čerpadlo nesoucí označení CP4 (viz obr. 1.14-15) je dnes jedním z hlavních produktů, které se v Jihlavě vyrábí. Zákazník si může vybrat ze dvou variant těchto čerpadel, jednohlavé nebo dvouhlavé, respektive jedno pístové nebo dvou pístové. Čerpadla CP4 pracují s tlaky až okolo 2100 barů a používají se jak u osobních, tak u užitkových vozidel. Základ čerpadla je tvořen tělesem ze slitiny hliníku. Pomocí dvojité vačky, použité uvnitř čerpadla, bylo dosaženo během jedné otáčky dvou podávacích zdvihů. Dále se také zvýšil převodový poměr otáček hřídele čerpadla a samotného motoru vozidla. Vzhledem k velké poptávce po tomto produktu je v Jihlavě v současnosti v provozu 6 montážních linek. Převážná část dílů pro zkompletování celého čerpadla se vyrábí přímo v tomto závodě [6].



Obr. 1.13 Vysokotlaké čerpadlo CP4 – jednohlavé [7].



Obr. 1.14 Vysokotlaké čerpadlo CP4 – dvouhlavé [8].



Obr. 1.15 Vysokotlaké čerpadlo CP3 [6].

1.5.4 Vysokotlaké čerpadlo CPN5

Toto čerpadlo CPN5 (viz obr. 1.16) se používá v nákladních automobilech, stavebních strojích, lodích a jiné těžké technice. Ze všech výrobků, vyráběných v jihlavských závodech, je toto čerpadlo největší a také nejtěžší. Tlak, při kterém tento produkt pracuje, se blíží 2500 barů. Toto čerpadlo se v Jihlavě nevyrábí jako celek, nýbrž jsou zde kompletované pouze jednotlivé podsestavy, mezi které patří sací a tlakový regulační ventil. Metodami broušení a superfinišováním jsou zde obráběny a dokončovány hřídele a vysokotlaké elementy. Jak již bylo zmíněno výše, polotovary se v těchto jihlavských závodech nevyrábí, proto jsou většinou převáženy ze závodů v Německu [6].



Obr. 1.16 Vysokotlaké čerpadlo CPN5 [6].

1.5.5 Vysokotlaký regulační ventil DRV

Součástí systému Common Rail je vysokotlaký regulační ventil (viz obr. 1.17), který je označen zkratkou DRV (Druck Regel Ventil). Tento komponent má v systému velice důležitou roli, protože reguluje tlak paliva mezi motorem a čerpadlem. V Jihlavě na závodě II-Dolina se vyrábí 2 druhy regulačních ventilů. DRV1 se vyrábí pro čerpadla typu CP1, DRV2 pro typ čerpadla CP3. Regulační ventil je vždy namontován k vysokotlakému zásobníku paliva (Rail) [3].

1.5.6 Vysokotlaký zásobník paliva – rail

Vysokotlaký zásobník paliva - rail má více funkcí, než jen nahromadění paliva pod vysokým tlakem a udržení ho na stejné hodnotě. Další funkcí railu je tlumení tlakových kmitů, které vznikají od čerpadla. Tyto vysokotlaké zásobníky paliva se vyrábí na závodě II-Dolina a používají se do 3, 4, 6 a 8mi válcových motorů. Během let došlo k vyvinutí čtyř generací tlakových zásobníků. V Jihlavě se vyrábí raily pomocí dvou odlišných technologií. Rozlišujeme zde raily kované (viz obr. 1.18), které jsou označovány HFR (Hot Forged Rail) a raily svařované (viz obr. 1.19), zkratka LWR (Laser Welded Rail). Kované raily jsou vyráběny z polotovaru, výkovku kovaného za tepla. Tento polotovar se následně obrábí. U svařovaných zásobníků LWR jsou polotovarem válcované tyče, které se nejprve obrobí na požadované rozměry a poté jsou na ně pomocí odporového nebo laserového svařování navařeny další komponenty [6].

Tato práce se zabývá návrhem nového designu a nalezením optimálních svařovacích parametrů ke svaření nového návrhu nízkotlakého vývodu ND k polotovaru pomocí odporového svařování.



Obr. 1.17 Vysokotlaký regulační ventil DRV [6].



Obr. 1.18 Kovaný rail HFR [6].



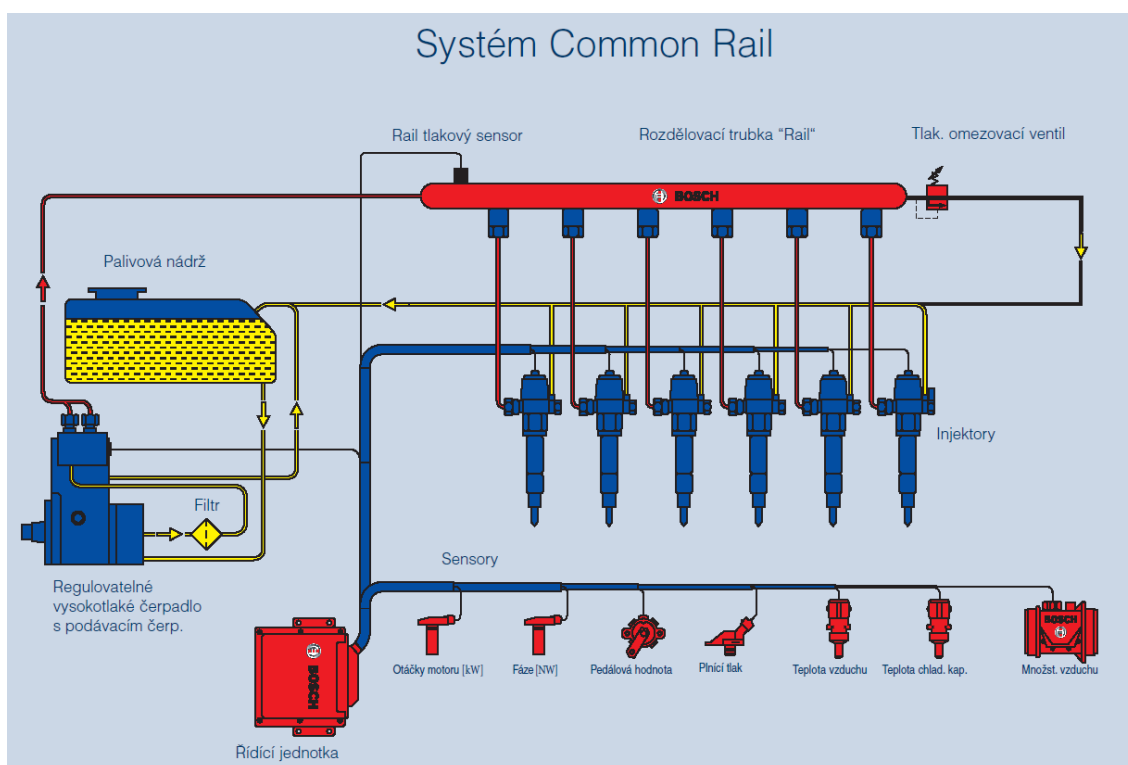
Obr. 1.19 Svařovaný rail LWR [6].

2 SYSTÉM COMMON RAIL

Název systému Common Rail je odvozen od jedné ze součástí tohoto systému, a to vysokotlakého zásobníku paliva – railu, který je společný pro všechny vstřikovače (z anglického jazyka „Common Rail“ se toto spojení přeloží jako „společná trubka“) [9].

Historie tohoto systému spadá do 60. let minulého století. V tomto období byl vyvinut první prototyp Robertem Huberem ze Švýcarska. V devadesátých letech se k vývoji přidala firma Magneti Marelli a výzkumné centrum Fiat. V roce 1993 odkoupila patenty německá společnost Robert Bosch GmbH, která tento systém zdokonalila a začala ho v roce 1999 uvádět do své výroby [9].

V dnešní době jsou kladeny stále větší nároky na vznětové vstřikovací motory. Je snaha dosáhnout úspornějších, výkonnějších a čistších systémů. Toho lze dosáhnout zvýšením vstřikovací tlaku a rychlejších spínacích časů. Jedním z nejpoužívanějších je systém Common Rail (viz obr. 2.1). Hlavní komponenty tohoto systému jsou vysokotlaké čerpadlo, nízko a vysokotlaké palivové potrubí, rail, elektronicky řízené vstřikovače, snímače pracovních podmínek motoru a řídicí jednotka systému [9].



Obr. 2.1 Schéma systému Common Rail [6].

U většiny běžných systémů se palivo dopravuje z nádrže pomocí čerpadla nízkotlakým potrubím do vysokotlakého čerpadla. Odtud je dále dopraveno vysokotlakým potrubím do vstřikovačů. Systém Common Rail se od těchto běžných systémů odlišuje tím, že palivo je z vysokotlakého čerpadla vedeno vysokotlakým potrubím do zásobníku paliva – railu. V tomto zařízení, které je společné pro všechny vstřikovače, respektive válce motoru, dochází k navýšení pracovního tlaku paliva. Teprve odtud je palivo dopraveno pod tlakem do vstřikovačů [9].

Systém Common Rail se skládá ze tří částí, kterými jsou [9]:

- nízkotlaká část obsahující komponenty, které zásobují palivem,
- vysokotlaká část zahrnující vysokotlaké čerpadlo, vysokotlaký zásobník paliva rail, vstřikovače a vysokotlaká palivová vedení,
- elektronická regulace vznětových motorů, kde se nachází systémové bloky snímačů, řídicí jednotka a akční členy (ECU).

2.1 Nízkotlaká část systému Common Rail

Tento okruh (v obrázku 2.1 je označen žlutou barvou) má za úkol filtrovat a zásobovat celý systém palivem za jakýchkoliv provozních podmínek.

Mezi částí tohoto okruhu patří [9]:

- palivová nádrž,
- podávací čerpadlo (zubové, elektrické, atd.),
- palivový filtr,
- palivové čerpadlo (nízkotlaká část),
- omezovací tlakový ventil,
- nízkotlaká palivová vedení.

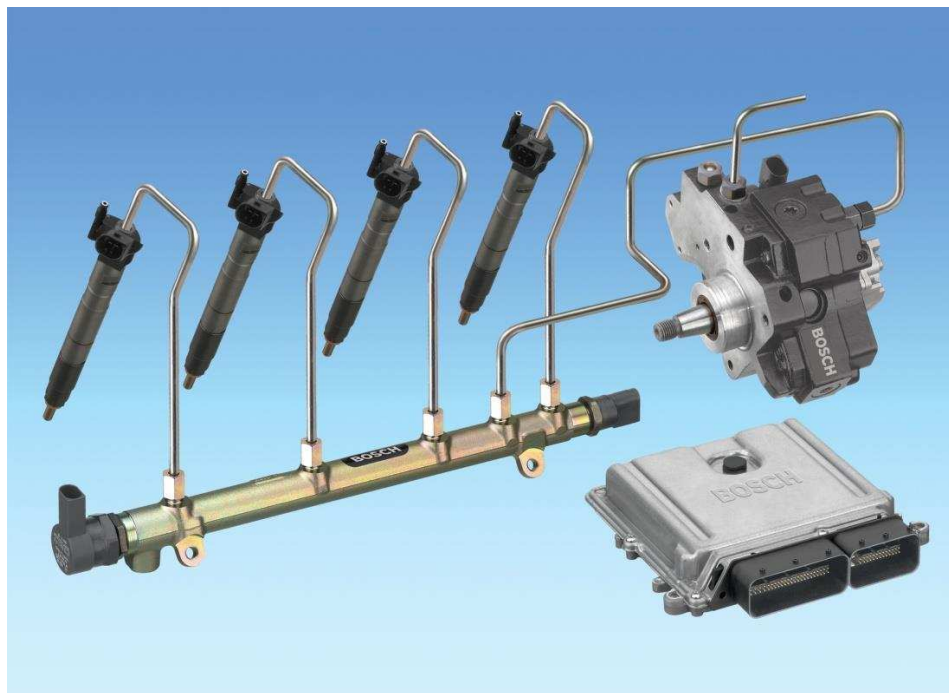
Palivo je pomocí podávacího čerpadla dopraveno z nádrže přes palivový filtr. Ten má za úkol zachytit částice a nečistoty obsažené v palivu. Kdyby došlo k proniknutí pevných částic do částí motoru, mohly by tyto nečistoty způsobit opotřebení částí motoru nebo dokonce vyřadit systém mimo provoz. Z palivového filtru putuje palivo dále do vysokotlakého čerpadla. Zde začíná vysokotlaký okruh. Pokud je pracovní tlak uvnitř čerpadla vyšší než požadovaný, dojde k jeho regulaci pomocí upuštění nízkotlakým vývodem. Toto palivo se dále přesouvá zpět do nádrže. Nízkotlaká část dále pokračuje omezovacím tlakovým ventilem, který je připojen přímo k railu. Tento ventil má za úkol omezovat tlak v railu. Pokud dojde k vysokému zatížení, uvolní vypouštěcí ventil a palivo proudí skrze nízkotlaký vývod (ND vývod) do další části nízkotlakého potrubí. Omezovací tlakový ventil má nastavenou i funkci nouzového chodu, který zaručuje, že určitý tlak v railu zůstane zachován. To umožňuje omezenou jízdu [9].

2.2 Vysokotlaká část systému Common Rail

Vysokotlaký okruh (viz obr. 2.2), který má za úkol vytváření a udržování tlaku, začíná ve vysokotlakém čerpadle. Zde dochází k vytvoření tlaku o hodnotách 1350 až 2500 barů, v závislosti na použitém čerpadle. V dnešní době jsou vyráběny a používány vysokotlaká čerpadla společnosti Bosch s označeními CP3 (viz obr. 1.13), CP4 (viz obr. 1.14), CPN5 (viz obr. 1.16). Odtud je palivo dopraveno pod tlakem do tlakového zásobníku paliva (railu) [9].

Úkolem railu je uchovávat palivo pod vysokým tlakem a také jeho rozdělení ke vstřikovačům. Uvnitř zásobníků dochází vlivem vstřikování a dodávky paliva z tlakového čerpadla uvnitř objemu k tlakovému kmitání, které musí být tlumeno, aby tlak při otevření vstřikovače zůstal konstantní. Objem zásobníku by měl být dostatečně velký, aby splnil

všechny výše zmíněné požadavky. Zároveň musí být tak malý, aby bylo možné dostatečně rychle vytvořit tlak při startování. Konstrukce railu musí být dostatečně pevná, aby byla zaručena dokonalá těsnost. Tlak paliva v zásobníku je měřen a regulován na požadovanou hodnotu pomocí tlakového regulačního ventilu [9].



Obr. 2.2 Systém Common Rail – vysokotlaký okruh [6].

2.3 Vstřikovače a řídicí jednotka

Vstřikovače jsou srdcem celého systému. Jsou pomocí upínacích prvků upevněny do hlav válců (viz obr. 2.5) a dále jsou propojeny pomocí vysokotlakého potrubí k railu. Charakteristické pro tyto součásti je, že vytvářený vstřikovací tlak je nezávislý na vstřikovaném množství a otáčkách motoru. Počátek vstřiku a vstřikované množství jsou řízeny elektricky aktivovaným vstřikovačem řídicí jednotkou. Množství dávky vstřiku závisí na tlaku v systému a na době otevření ventilu. Vzhledem k vysokým nárokům na snižování emisí výfukových plynů, tišší chod motoru a zvýšení výkonu je nutné dosáhnout přesného složení spalované směsi, dále vstřikování přesného množství směsi tak, aby byla do spalovacího prostoru válce dokonale rozprášena. Aby bylo těchto požadavků dosaženo, používá se několikanásobný vstřik, kde je vyžadován předvstřik. K tomu, aby vstřikování probíhalo přesně, je zapotřebí dvou snímačů umístěných na klikové hřídeli a k rozpoznávání válců na vačkové hřídeli. Vstřikovačů se vyrábí dva druhy. Rozlišujeme vstřikovače s elektromagnetickým ventilem (viz obr. 2.3) s jednodílnou nebo dvoudílnou kotvou a vstřikovače s piezoelektrickým členem (viz obr. 2.4) [9].

Řídicí jednotka dostává signály ze snímačů, které sledují polohu plynového pedálu a aktuální provozní stav vozidla. Ty dále zpracovává a vyhodnocuje. Výsledkem je přesné řízení regulačního tlakového ventilu, dávkovací jednotky, vstřikovačů a dalších akčních členů (např. regulátor turbodmychadla, ventil zpětného vedení spalin) [9].



Obr. 2.3 Vstřikovač s elektromagnetickým ventilem [6].



Obr. 2.4 Vstřikovač s piezoelektrickým členem [6].



Obr. 2.5 Pozice vstřikovače [6].

2.4 Klady a zápory systému Common Rail

Vzhledem k tomu, že počet vyráběných aut se vznětovým motorem používající systém Common Rail (viz obr. 2.6) stále roste, množství kladů převažuje nad zápory systému. Před zavedením tohoto systému do provozu bylo v Evropě v roce 1997 pouhých 22 % automobilů vybavených naftovým pohonem. V posledních letech se prodej automobilů se vznětovým motorem téměř vyrovnal automobilům se zážehovým motorem [9].

Výhody systému Common Rail [9,10]:

- díky vysokému tlaku dochází k vysoké kvalitě rozprášení směsi, která napomáhá k výraznému snížení emisí,
- jednodušší propojení a snížení nároků na nízkotlakou část okruhu, která rozvádí palivo do celého systému,
- snížení hlučnosti motoru vlivem přesnějšího vstřikování paliva,
- Snížení spotřeby díky několikanásobnému vstřikování

Nevýhody systému Common Rail [9,10]:

- protože vysoký tlak paliva v railu musí být stále udržován, dochází tím ke snížení účinnosti motoru,
- pokud dojde k poruše vstřikovacího ventilu, palivo bude nepřetržitě protékat do spalovacího prostoru,
- v případě zanesení nečistot do systému dojde k většímu opotřebení a tím i snížení jeho životnosti.

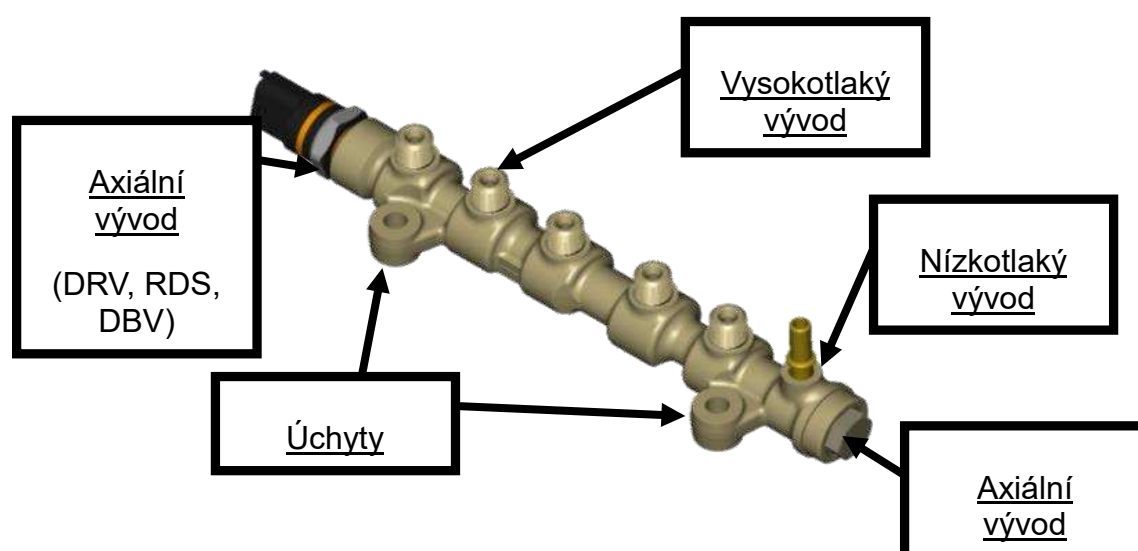


Obr. 2.6 Zapojený systém Common Rail k motoru [6].

3 VYSOKOTLAKÝ ZÁSOBNÍK PALIVA – RAIL

3.1 Popis railu

Hlavním úkolem tlakového zásobníku je udržovat tlak v palivu a distribuovat ho do vstřikovačů. Rail je společný pro všechny vstřikovače, odtud název systému Common Rail, který v překladu znamená „společná trubka“. V zásobníku musí být tlumeno tlakové kmitání, které vzniká přiváděním paliva od vysokotlakého čerpadla a také vstřikováním. Tím je dosaženo toho, že tlak při otevření vstřikovače zůstává konstantní. Objem zásobníku by měl být dostatečně velký, aby vyhověl výše zmíněným požadavkům, ale zároveň by měl být tak malý, aby byl při startování dostatečně rychle vytvořen potřebný tlak. Proto se během fáze návrhu provádějí simulační výpočty, aby bylo dosaženo optimálních parametrů [9].



Obr. 3.1 Popis Railu [6].

3.2 Výroba Railu

Ve firmě BOSCH DIESEL s.r.o. v Jihlavě se vyrábí vysokotlaký zásobník paliva dvěma technologiemi, podle kterých rozdělujeme rail na dva typy. Prvním typem je kovaný rail, tím druhým je rail svařovaný. Oba druhy se vzájemně liší použitým polotovarem i technologií výroby. Tyto rozdíly a postupy výroby budou nyní popsány.

3.2.1 Kovaný rail

Tento typ zásobníku se také označuje zkratkou HFR, z anglického názvu Hot Forged Rail, což v českém překladu znamená „za tepla kovaný rail“. Již z tohoto popisu je patrné, že polotovarem pro tento typ je za tepla kovaný výkovek, který má tvar hotové součásti. Materiálem, ze kterého je polotovar vyroben, je feriticko-perlitická ocel 38MnVS6. Kovaný rail je zobrazen na obrázku 1.18 [6].

Výroba tohoto zásobníku se skládá z několika operací, které jsou v odrážkách popsány níže.

- Axiální a Radiální obrábění, které se provádí na CNC strojích Hüller Hille, které pracují s jedním vřetenem ve 3 osách, obsahují otáčecí stůl a nástrojový zásobník pro třicet šest nástrojů. Polotovary jsou vkládány do přípravků, vždy čtyři kusy na jeden přípravek, přičemž ve stroji jsou dva přípravky. Při těchto operacích dochází k frézování, vrtání, vystružování a obrábění či tvarování vnitřních a vnějších závitů. Dalšími stroji používanými pro tyto operace jsou Chiron, Mazak a Heller [6].
- Hluboké vrtání, které se provádí na CNC strojích Mollart, pracující se dvěma vřeteny s emulzí jako procesní kapalinou. Pracovním nástrojem této operace je dělový vrták pro hluboké vrtání. Po skončení operace musí obsluha obrobek vyjmout a vložit novou dávku. V dnešní době se stále používá i stroj TBT, který je však z velké míry nahrazen výše zmíněnými stroji [6].
- Kartáčování je operace následující po radiálním obrábění, kdy dochází k protažení po hlubokém vrtání, následuje proces praní [6].
- Výstupní kontrola, při které se pomocí nepřímých měřidel, jako jsou třmenové a závitové kalibry, hloubkoměrů, pneumatických měřidel a endoskopu kontrolují vyrobené rozměry, případně vady vzniklé při obrábění [6].
- Autofretáž (viz obr. 3.2 a 3.3), kde principem je opakované vystavení railu pružně plastickým deformacím, které po skončení vyvolá zbytkové obvodové napětí uvnitř vysokotlakého zásobníku paliva. Tímto způsobem se zvyšuje cyklická pevnost zhruba o jednu třetinu a vhodnými materiály pro tuto operaci jsou materiály s vysokou tažností. Na začátku tohoto procesu je rail založen do přípravku a všechny vývody jsou utěsněny. Poté je do tělesa zásobníku přiváděn v sekvencích tlak okolo 8000 barů. Díky tomu je zabráněno v šíření dalších trhlin v materiálu, které by se mohly během pracovního zatížení šířit dál. Tento proces výrazně zlepšuje vlastnosti railu a snižuje možnost vzniku defektu [10].



Obr. 3.2 Autofretáž [6].



Obr. 3.3 Defekt vzniklý při autofretáži [6].

- Lisování nízkotlakých vývodů [6].
- Galvanické pokovování NiZn, které se provádí ve spolupráci s externí firmou. Tato vrstva má hlavně ochrannou funkci, kdy chrání těleso vysokotlakého zásobníku před vnějšími vlivy a hlavně před korozí. Tento proces je posledním před vlastní montáží a kompletací railu [6].

Po návratu railu ze zinkovny se provádí vstupní kontrola a nalisování tlumičů. Pak je vysokotlaký zásobník připraven na závěrečnou fázi, kterou je montáž a kompletace celého produktu dle požadavků a specifik zákazníků. Na rail se tak může namontovat snímač tlaku RDS (viz obr. 3.4), omezovací tlakový ventil DBV nebo regulační tlakový ventil DRV (viz obr. 3.5-6) [6].



Obr. 3.4 Snímač RDS.



Obr. 3.5 Ventil DRV1.



Obr. 3.6 Ventil DRV2.

3.2.2 Obrábění svařovaného railu

Svařovaný tlakový zásobník se značí zkratkou LWR z anglického spojení Laser Welded Rail. V překladu to znamená „laserem svařovaný rail“. Jako polotovary se používá ocelová válcovaná tyč. Jelikož se tyto tyče dodávají pouze v délce 6 metrů a průměrech 30 nebo 33 milimetrů, spolupracuje firma BOSCH DIESEL s.r.o. s externí firmou, která připravuje přířezy v požadovaných délkách s přídavky na obrábění. Jako materiál se nejčastěji používá mangan-chromová ušlechtilá nízkolegovaná ocel, která má označení 20MnCrS5 [11].

Technologie výroby je stejně jako u kovaných railů rozdělena do několika operací:

- Hluboké vrtání je první operací. Provádí se na CNC vrtacích strojích TBT, které mají 6 současně pracujících vřeten, tudíž polotovary jsou zde vkládány po 6 kusech, což zaručuje vysokou efektivitu procesu [6].
- Axiální a radiální obrábění je prováděno na CNC obráběcích strojích Elha. Tyto stroje jsou vybaveny přípravkem otočným kolem horizontální osy. Polotovary jsou vkládány po dvou kusech do stojanu, který zajede do stroje. Zde si stroj sám připravené kusy upne do čelistí. Při obrábění koná pohyb polotovaru, který se pohybuje k nástrojům umístěným po stranách stroje. Každý polotovar má svoje vřetenno. Nástroj se proto během obrábění nemusí měnit a dochází k časové úspoře. Oproti kovaným railům, které mají podobně obrobený těsnící kužel, se tento liší hlavně vysokotlakými vývody, které se neobrábí z plného materiálu, ale jsou navařovány. Rozdíl je patrný na obrázcích 3.7-8 [6].
- Kartáčování a následná kontrola rozměrů pomocí závitových a třmenových kalibrů, endoskopu, hloubkoměru a tlakových měřidel [6].
- Autofretáž, která probíhá stejně jako u kovaných railů. Technologie této operace je popsána v kapitole 3.2.1. Jelikož materiálové složení obou typů zásobníků je odlišné, liší se také výsledné zpevnění. U svařovaných railů se tento proces používá pouze u některých vyráběných typů. Některé díly jsou stejné, ale liší se tím, že jeden produkt prošel operací autofretáže a druhý ne. Aby nedošlo k zamíchání kusů, je

prováděno u typů procházejících autofretáží ražení DMC kódu a písmena A k lepšímu rozlišení (viz obr. 3.9) [6].



Obr. 3.7 HD vývody kovaného railu.



Obr. 3.8 HD vývody svařovaného railu.



Obr. 3.9 Vyražený kód po autofretáži.

- Svařování komponent předchází ještě jedna operace, kterou je praní. Díly musí být dokonale čisté a zbaveny mastnoty, aby nevznikl problém při svařování (např. vznik pórů) [6].

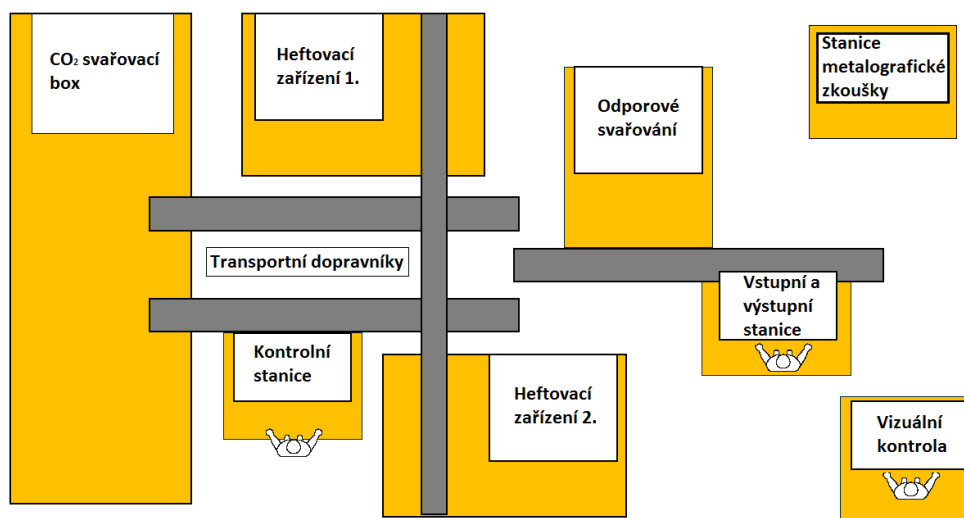
3.2.3 Svařování railu

Po dokončení obráběcího procesu, respektive po ukončení procesu praní, jsou součásti převezeny na skladovacích vozících (skejtech) ke svařovací lince, kde postupně dojde k přivaření komponent. Svařovací linka se skládá z několika pracovišť (viz obr. 3.10), které jsou vzájemně propojeny pásovým dopravníkem. Postup svařování a popis jednotlivých stanic je následující:

- Prvním pracovištěm svařovací linky je vstupní a zároveň výstupní ruční pracoviště. Obsluha zakládá kusy ze skejtu na transportní vozík. Transportní vozík je zařízení, které dopravuje pomocí pásového dopravníku rail do všech stanic svařovací linky. Mimo to je na něm také kontrolní čip, na který se nahrávají informace z jednotlivých

operací. V momentě, kdy je rail založen, dochází k jeho transportování na další operaci.

- Další v pořadí je stanice odporového svařování nízkotlakého vývodu ND. Zde jsou metodou odporového svařování přivařeny nízkotlaké vývody k railu. Tato operace bude dále podrobněji popsána.
- Následně je rail přiveden ke stanici heftování. Tato operace je nejužším místem celého procesu, a proto je zdvojené. Heftování je svařování pevnolátkovým laserem Nd: YAG od firmy Trumpf. Rail je chycen do drapáku (chapadla) a založen do svařovacího zařízení, kam jsou drobné komponenty přiváděny pomocí vibračních zásobníků. Rail je vystředěn trnem za kužel v railu (plovoucí vůle) a následně pevně upnut. Potom probíhá heftování drobných součástí, jako jsou vysokotlaké vývody a úchyty. Heftovaný svar je definovaný počtem pulzů o daném výkonu. Tím dojde k upevnění součástí. Následně je rail znovu uložen do vozíku a pokračuje z heftovací stanice ven na stanici kontroly.
- Na stanici kontroly se kontroluje svaření ND vývodu a vnitřní těsnící kužel vysokotlakého vývodu HD, zda nedošlo k zanesení nečistot, dále probíhá kontrola jednotlivých svarů. Pokud je vše v pořádku, obsluha nasadí na všechny vývody ochranné čepičky, které chrání závit a kužel před okujemi během laserového svařování. Odtud zásobník pokračuje do CO₂ svařovacího boxu.
- CO₂ svařovací box je osazen dvěma roboty Stäubli a stacionární CO₂ laserovou hlavou. Svařovací hlava má pevnou pozici a veškerou manipulaci s obrobkem provádí šestiosý robot. Dochází k finálnímu svaření komponent. Plynový leser se stará o kvalitu spoje. Před vrácením na první pracoviště projde rail popisovací stanicí, kde dojde po kontrole statusu všech předchozích procesů k vyražení alfanumerického kódu. Pokud má rail status NOK, je propuštěn bez vyraženého kódu s výstražným zvukovým a světelným signálem, aby nedošlo k zamíchání mezi standardní kusy.
- Na tomto pracovišti pracovník sundá všechny ochranné čepičky z vysokotlakých vývodů a následně provede vizuální kontrolu kvality všech závitů, zda nejsou poškozené. V případě potřeby lze závity přeměřit závitovým kalibrem. Dále obsluha kontroluje kvalitu svarů jednotlivých komponent, v rámci které se zaměřuje především na jejich délku a umístění. Dále je nutné zkontrolovat těsnící kužel uvnitř vývodů, zda se do tohoto prostoru nedostala během svařovacího procesu okuje. Pokud tato kontrola proběhne bez zjištění problému a závad, provede pracovník nízkotlakou těsnící zkoušku, která se používá pro zjištění těsnosti svaru nízkotlakého vývodu. Tato zkouška spočívá v utěsnění otvoru nízkotlakého vývodu a axiálního konce těsnící hlavou a následném natlakování systému vzduchem, kdy je přesně definovaná doba měření pokles tlaku. K tomuto měření se používá měřicí zařízení Ateq F520. V případě špatné těsnosti nízkotlakého vývodu by mohlo v pracovním procesu dojít k úniku paliva a případně i ke vzplanutí.



Obr. 3.10 Schéma svařovací linky [6].

3.3 Stanice odporového svařování

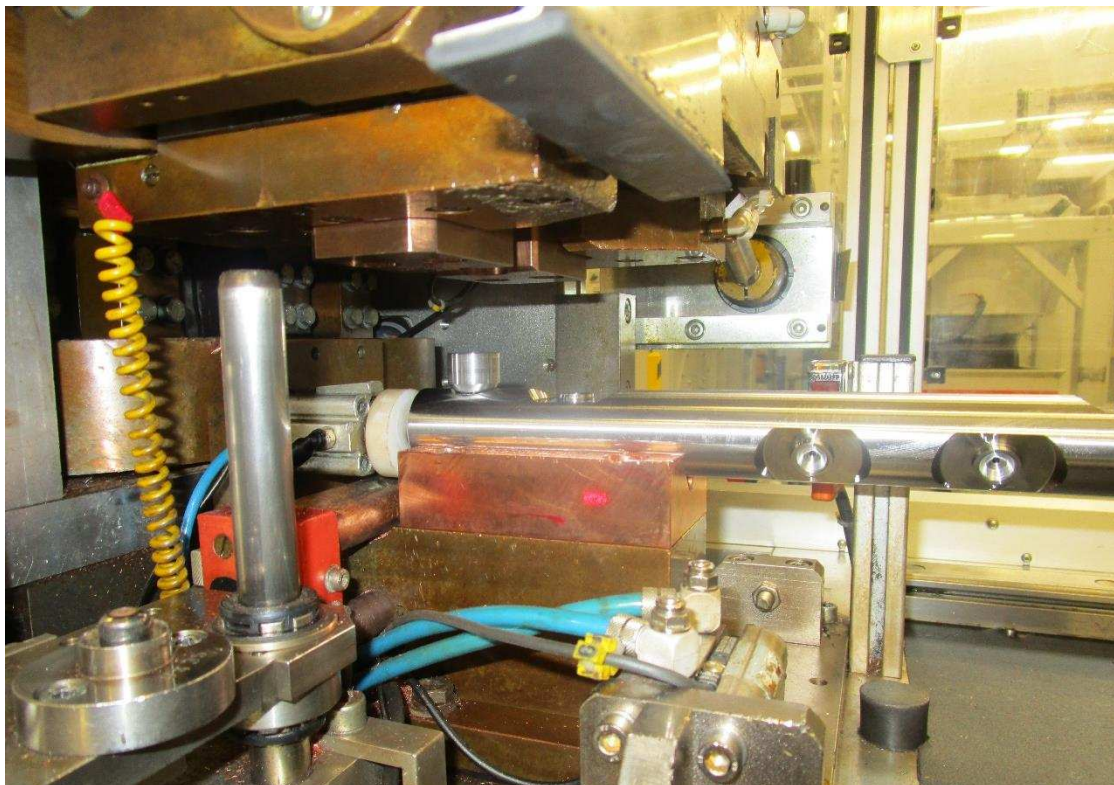
Náplní práce této stanice (viz obr. 3.11) je přivaření nízkotlakého vývodu ND k trubce railu. ND vývod se liší od ostatních komponentů přivařovaných k railu svým kruhovým tvarem, proto není svařován metodou laserového svařování, ale metodou odporového svařování. Trubka railu je založena na dopravním vozíku a dopravena na stanoviště odporového svařování, kde si ji odebere pneumatický drapák. Nízkotlaké vývody jsou dopravovány pomocí vibrační lišty k pneumatickému podavači, který ho přenesení k pneumatickému vyhazovači. Ten pak zasune nízkotlaký vývod mezi měděné elektrody svařovací hlavy, které ho sevřou, klesnou na nastavenou hodnotu poklesu na trubku railu a přitlačí komponent předem definovaným tlakem. Následuje spojení obou součástí pomocí odporového svařování, při kterém dochází ke vzniku velkého množství tepla v místě styku nízkotlakého vývodu a trubky railu vlivem střídavého proudu o nízkém napětí (okolo 15 V) a vysoké intenzitě (až 30 000 A). Množství tepla je dáno Joule-Lenzovým zákonem:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad (1)$$

kde: Q – množství tepla [J]
 R – celkový odpor [Ω]
 I – svařovací proud [A]
 t – čas svařování [s]

Odporové svařování se dělí do několika podskupin, ale pro svařování nízkotlakého vývodu k railu se v jihlavském závodě využívá výstupkového odporového svařování. Výstupek se nachází na komponentu nízkotlakého vývodu v místě styku s trubkou railu. Při svařování dojde k roztavení výstupku, které při tuhnutí vytvoří svar. Při této metodě není potřeba přídavného materiálu. Kontrola svaru se provádí pomocí zkoušky těsnosti na pracovišti vizuální kontroly, která se nachází na konci svařovacího procesu, a pomocí zkoušky ohybem, nacházející se na metalografickém pracovišti, která spočívá v ohybovém a smykovém namáhání nízkotlakého vývodu. Ohybová zkouška bude popsána dále v textu. Při svařování dochází k měření poklesu nízkotlakého vývodu, které nesmí překročit stanovené mezní hodnoty. Pokud je pokles v toleranci, je rail vrácen na vozík a čipu na transportním vozíku

pro příslušný rail je přidělen status OK. Pokud v toleranci není, dostane čip status NOK a zbylými stanicemi svařování pouze projede [12].



Obr. 3.11 Rail založený mezi elektrody – odporové svařování.

3.4 Pracoviště metalografické zkoušky

Toto pracoviště se nachází ve výrobní hale přímo u svařovacích linek, aby bylo možné rychle vyhodnocení zkoušky pro potřeby výroby. Metalografické pracoviště je uspořádané do hnízda, kde mají pracovníci přímý přístup ke všem zařízením a není tak ztrácen čas přesunem obsluhy (viz obr. 3.12). Díky tomu je vyhodnocení zkoušek a vzorků rychlejší. Toto pracoviště sestává ze dvou pil od firmy Struers. Jedná se o velkou pilu Axitom 5 (viz obr. 3.13), která je osazena pohyblivým pracovním stolem, a menší pilu Discotom. Dále se na tomto pracovišti nachází brusky (leštičky), pracovní stůl pro naleptání výbrusů, pracovní stůl vybavený počítačem a mikroskopem pro vyhodnocování metalografických vzorků. Posledním přístrojem tvořící toto hnízdo je trhací stanice Zwick Roell.

Na tomto pracovišti se zkouší a vyhodnocuje již svařený rail. Ve zkušebních návodkách, které jsou na pracovišti svařovací linky, jsou uvedeny intervaly, po kterých je vybrán určitý počet kusů railů. Tyto kusy jsou převezeny na pracoviště metalografické kontroly. Zde se postupně vkládají do pily, kde je rail rozřezán tak, aby byl vyhodnocený každý provedený svar během svařovacího procesu. Tento proces je automatizovaný.

Po rozřezání pracovník vezme nařezané vzorky a pomocí kladiva na ocelové podložce srazí ostrou hranu na vzorku, která vznikla na konci řezání vzorku, aby nedošlo k poranění obsluhy a také poškození brusného kotouče. Následně začne pracovník vzorky brousit na kotoučových bruskách (viz obr. 3.14). Tyto brusky jsou osazeny brusnými kotouči různé

drsnosti. Začíná se brousit na nejhrubším kotouči, následuje kotouč o drsnosti $70\ \mu$ a přechází se na velmi jemný brusný kotouč, respektive leštící plátno o drsnosti $3\ \mu$, kde dojde k vyleštění vzorku. Aby bylo zamezeno změně struktury při broušení vlivem tepla, dochází při broušení k chlazení vzorků vodou. Díky různým tvarům vzorků je při broušení a leštění obtížné jakkoliv vzorek uchytit, proto je tento proces vykonáván ručně.



Obr. 3.12 Pracoviště metalografické zkoušky.



Obr. 3.13 Pila Streuers Axitom 5.



Obr. 3.14 Kotoučové brusky.



Obr. 3.15 Metalografické vyhodnocování svaru vysokotlakého vývodu.

Po vyleštění je nutné vzorek opláchnout vodou, aby byl zbaven všech nečistot. Poté je vzorek ponořen do tříprocentního roztoku kyseliny dusičné a metanolu. Tím dojde k naleptání vzorku, díky kterému vystoupí struktura materiálu na povrch. Po vyjmutí z lázně je nutné vzorek opláchnout vodou. Po vykonání tohoto procesu pak můžeme pozorovat pod mikroskopem materiálovou strukturu v místě svaru a přilehlé tepelně ovlivněné oblasti.

Nyní je možné vzorek vyhodnotit na pracovišti s mikroskopem od firmy Zeiss a podporou počítačového softwaru (viz obr. 3.15). Na vzorku se definuje toleranční pole, dále je určena hloubka provaření, poloha středu svaru a propojení svarů u úchyťů. Sledovány jsou také možné vady svarů, jako jsou například vzniklé póry či trhliny. Obsluha musí být proškolená, aby toto vyhodnocení, kde se jednotlivé vzdálenosti a osy zadávají subjektivně, bylo v pořádku. Pokud si pracovník není svým posouzením jistý, provede kontrolu ještě druhý pracovník, aby byla zaručena stoprocentní jistota. V případě nejednoznačnosti je přivolán i směnový mistr, případně technolog [13].

3.5 Ohybová trhací zkouška

Další zkouškou provádějící se na pracovišti metalografické zkoušky je ohybová trhací zkouška. Pomocí této zkoušky dochází k vyhodnocování odporově navařeného nízkotlakého vývodu ND k railu. Zkouška se provádí na stroji Zwick Roell (viz obr. 3.16). Touto metodou je vyhodnocována síla potřebná k oddělení ND vývodu od railu v místě svaru. Tato síla je během celého průběhu zkoušky sledována, zaznamenávána a následně je z těchto dat vytvořen graf.



Obr. 3.16 Stroj Zwick Roell.



Obr. 3.17 Založení railu do přípravku.



Obr. 3.18 Utržený ND vývod v místě svaru.

Před započítím této zkoušky je nutné zvolit správné přípravky pro zvolený typ railu a umístit je do stroje. Následně je rail vložen do stanice (viz obr. 3.17). Horní část stroje vykonávající zatížení poté pracovník pomocí ovládacího panelu stroje uvede nad ND vývod. Díky čelisti v této horní části stroje dochází k fixaci a tím působení zatížení pouze v jednom směru.

V počítači se nastaví program pro zkoušený typ railu a spustí se zkouška. Ta trvá v řádech několika sekund a je ukončena utržením ND vývodu (viz obr. 3.18). Hodnoty jsou během procesu sledovány a zaznamenávány v počítačovém programu. Ten pak vytvoří graf. Vyhodnocuje se maximální síla, při které dojde k odtržení komponentu. Tato síla se pak porovnává s minimální silou, která je zákazníkem požadována. V závislosti na typu railu a zákazníkovi se tato hodnota pro jednotlivé ND vývody liší, ale pohybuje se okolo 5 až 10 kN.

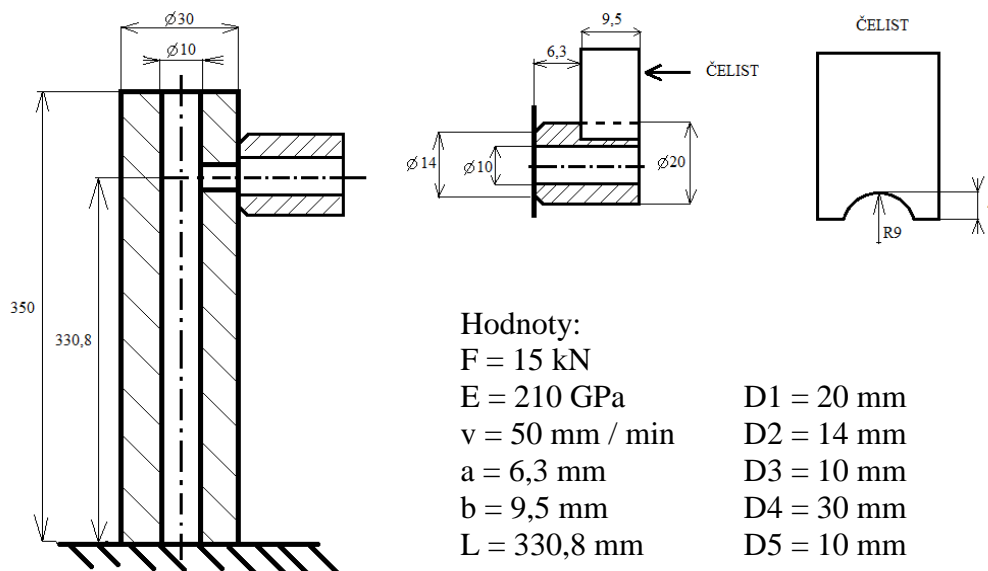
Dalším vyhodnocovacím znakem je otisk utržení na ND vývodu (viz obr. 4.1). Komponent se vloží pod mikroskop, kde se zkoumá kvalita svaru a jaká je minimální šířka provaření, zda je provaření rovnoměrné po celém obvodu. Stejně jako u metalografické zkoušky je i četnost této zkoušky stanovena zkušebním návodem.

Přesto, že tento stroj dokáže vyvinout zatěžovací sílu až 100 kN, pro účely zkoušky stačí zatížení okolo 15 kN. Rychlost zatěžování je konstantní a její hodnota během celé zkoušky je rovna 50 mm/min. Zkouška je ukončena v momentě, kdy klesne hodnota maximální síly na 70% její hodnoty.

3.6 Výpočet vnitřních výsledných účinků, redukovaného napětí a posunutí při zkoušce ohybem

Pro názornost byl sestrojen výpočet vnitřních výsledných účinků (VVÚ), redukovaného napětí v místě svaru a také posunutí v na konci ND vývodu v průběhu zatěžování.

Zkoušeným předmětem bude rail s novým návrhem ND vývodu, který bude dále řešen v následujících kapitolách. Parametry ohybové trhací zkoušky pro tento typ railu jsou vyobrazené v nákresu (viz obr. 3.19).

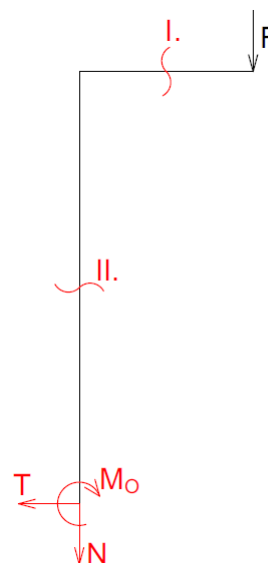
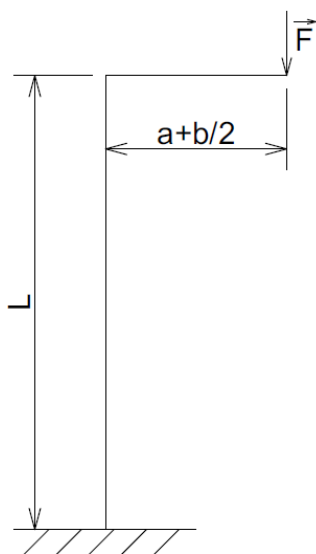


Obr. 3.19 Nákres s hodnotami nutnými pro výpočet.

3.6.1 Výpočet VVÚ

Aby bylo možné provést výpočet, budeme uvažovat rail jako prutovou soustavu. Výpočet VVÚ bude vypracován ve dvou variantách. V první variantě bude zatížení na ND vývodu bráno jako působení osamělé síly. V druhé variantě již bude navozen reálný stav, kdy působení čelisti na nízkotlaký vývod vyvolává liniové zatížení. U liniového zatížení je hodnota výslednice zatěžující síly stále konstantní, mění se pouze poloha jejího působení v závislosti na čase.

3.6.2 Působení osamělé síly



Obr. 3.20 Schéma působení osamělé síly.

Obr. 3.21 Schéma uvolnění vetknuté vazby.

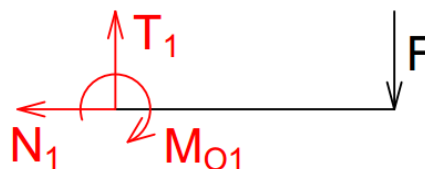
Na obrázku 3.20 je zobrazené schéma prutové soustavy railu, které je zatěžováno osamělou silou F . Upnutí railu do přípravku je možné brát jako vazbu vetknutím. Na obrázku 3.21 je již prutová soustava uvolněna. Vazba vetknutí se dá uvolnit dvěma silami a jedním momentem. Již od pohledu je patrné, že soustava je staticky určitá. Pro další výpočty je soustava rozdělena do dvou částí (I a II).

Část I

$$x \in \left(0; a + \frac{b}{2}\right)$$

$$X: N_1 = 0$$

$$Y: T_1 = F = 15 \text{ kN}$$



Obr. 3.22 Uvolnění části I.

$$M_o: M_{o1} = -F \cdot x = -F \cdot \left(a + \frac{b}{2}\right) = -1,5 \cdot 10^4 \cdot \left(6,3 \cdot 10^{-3} + \frac{9,5 \cdot 10^{-3}}{2}\right) =$$

$$M_{o1} = -165,75 \text{ Nm}$$

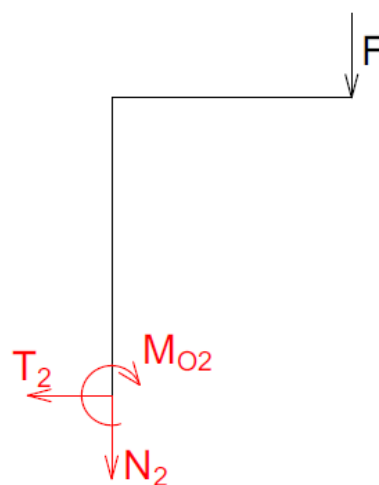
Část II

$$x \in (0; L)$$

$$X: T_2 = 0$$

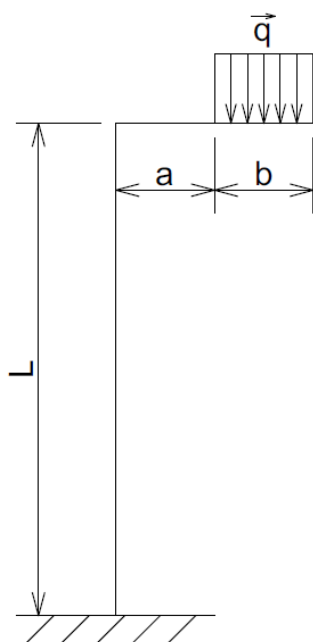
$$Y: N_2 = -F = -15 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_o: M_{o2} &= -F \cdot \left(a + \frac{b}{2} \right) = \\ &= -1,5 \cdot 10^4 \cdot \left(6,3 \cdot 10^{-3} + \frac{9,5 \cdot 10^{-3}}{2} \right) = \\ M_{o2} &= -165,75 \text{ Nm} \end{aligned}$$

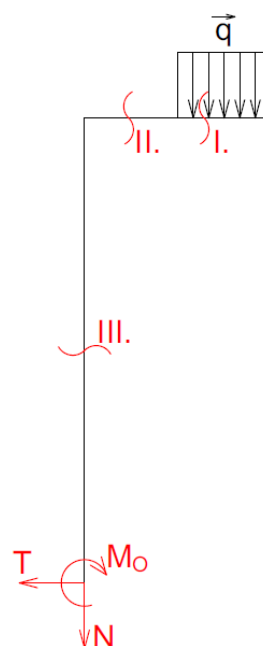


Obr. 3.23 Uvolnění části I.

3.6.3 Působení liniového zatížení



Obr. 3.24 Schéma působení liniového zatížení.



Obr. 3.25 Schéma uvolnění vetknuté vazby.

Prutová soustava zůstává zachována, došlo pouze ke změně zatížení. Místo osamělé síly zde bude nyní působit liniové zatížení \vec{q} , které odpovídá reálnému zatěžování nízkotlaké komponenty pomocí čelisti (viz obr. 3.24). Soustava je i nadále staticky určitá a pro potřeby výpočtu se dá rozdělit na tři oblasti (I, II a III) a uvolnění je také stejné jako v předchozí části, čili místo vetknutí je uvolněno dvěma silami a jedním momentem (viz obr. 3.25).

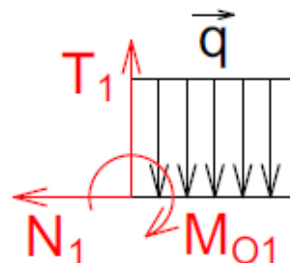
Část I

$$x \in (0 ; b)$$

$$X: N_1 = 0$$

$$Y: T_1 = q \cdot x$$

$$M_o: M_{o1} = -F \cdot x$$



Obr. 3.26 Uvolnění části I.

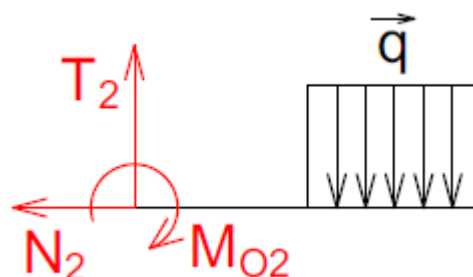
Část II

$$x \in (0 ; a)$$

$$X: N_2 = 0$$

$$Y: T_2 = q \cdot b = 15 \text{ kN}$$

$$M_o: M_{o2} = -q \cdot b \cdot \left(x + \frac{b}{2}\right)$$



Obr. 3.27 Uvolnění části II.

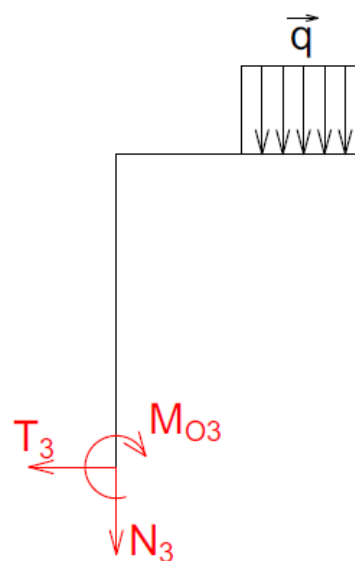
Část III

$$x \in (0 ; L)$$

$$X: T_3 = 0$$

$$Y: N_3 = -q \cdot b = -15 \text{ kN}$$

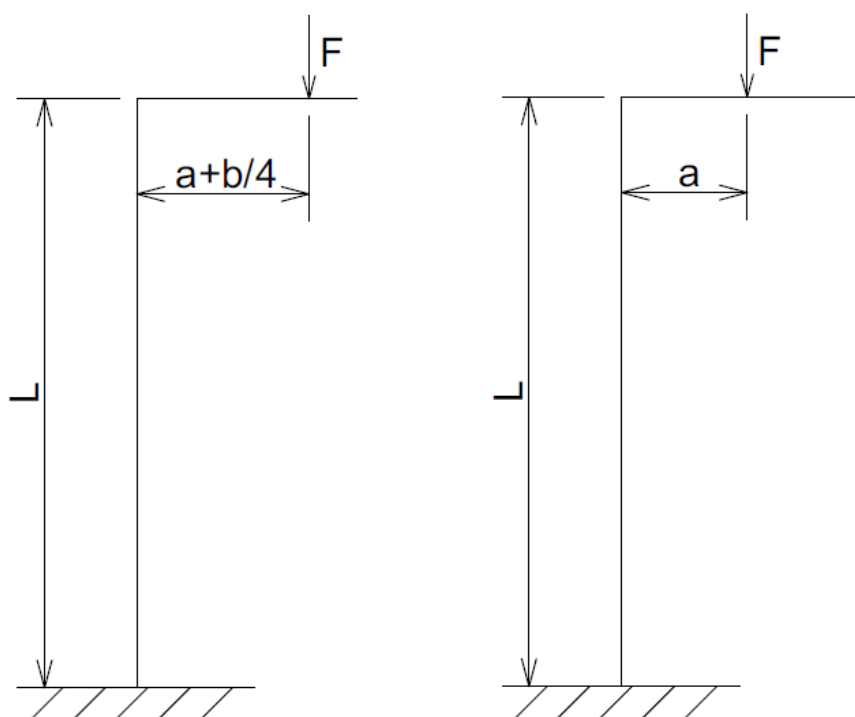
$$\begin{aligned} M_o: M_{o3} &= -q \cdot b \cdot \left(a + \frac{b}{2}\right) = \\ &= -1,5 \cdot 10^4 \cdot \left(6,3 \cdot 10^{-3} + \frac{9,5 \cdot 10^{-3}}{2}\right) = \\ M_{o3} &= -165,75 \text{ Nm} \end{aligned}$$



Obr. 3.28 Uvolnění části III.

3.6.4 VVÚ v průběhu působení liniového zatížení

Během působení liniového zatížení dochází ke změně stykové části mezi čelistí a nízkotlakým vývodem ND. Výslednice zatěžující síly bude stále stejná ($F = 15 \text{ kN}$), ale bude se měnit její působíště (viz obr. 3.29). Dalším výpočtem bude výpočet VVÚ v různých vzdálenostech působíště výslednice síly F .



Obr. 3.29 Uvolnění prutové soustavy se změnou působíště výslednice síly F na vzdálenost $a + \frac{b}{4}$ a vzdálenost a .

Působíště síly F ve vzdálenosti $a + \frac{b}{4}$ od railu

Část I

$$x \in \left(0; a + \frac{b}{4}\right)$$

$$X: N_1 = 0$$

$$Y: T_1 = F = 15 \text{ kN}$$

$$M_o: M_{o1} = -F \cdot x$$

Část II

$$x \in (0; L)$$

$$X: N_1 = 0$$

$$Y: T_1 = F = 15 \text{ kN}$$

$$M_o: M_{o1} = -F \cdot \left(a + \frac{b}{4}\right) \\ = -1,5 \cdot 10^4 \cdot \left(6,3 \cdot 10^{-3} + \frac{9,5 \cdot 10^{-3}}{4}\right) =$$

$$M_{o1} = -130,125 \text{ Nm}$$

Působíště síly F ve vzdálenosti a od railu**Část I**

$$x \in (0 ; a)$$

$$X: N_1 = 0$$

$$Y: T_1 = F = 15 \text{ kN}$$

$$M_o: M_{o1} = -F \cdot x$$

Část II

$$x \in (0 ; L)$$

$$X: N_1 = 0$$

$$Y: T_1 = F = 15 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_o: M_{o1} &= -F \cdot a \\ &= -1,5 \cdot 10^4 \cdot 6,3 \cdot 10^{-3} = \\ M_{o1} &= -94,5 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Z výsledků vyplývá, že největší ohybový moment je hned v počátku zatěžování, kdy je vzdálenost působícího zatížení největší. S časovou závislostí pak hodnota ohybového momentu klesá a v nejbližší vzdálenosti čelisti od railu má ohybový moment nejmenší velikost. Výsledky výpočtů jsou shrnuty v tabulce 1.

Tabulka 1 Výsledky ohybových momentů v závislosti na působíšti zatížení.

Vzdálenost ramena působícího zatížení	$a + \frac{b}{2}$	$a + \frac{b}{4}$	a
Velikost ohybového momentu M_o [Nm]	165,75	130,125	94,5

3.6.5 Výpočet redukovaného napětí

Pro výpočet redukovaného napětí jsou použity vypočítané hodnoty z kapitoly 3.6.3. Výpočtem bude dosaženo výpočtu redukovaného napětí v místě svaru, které je nejvíce namáhaným místem při ohybové trhačce zkoušce.

Maximální ohybový moment: $M_{omax} = 165,75 \text{ Nm}$

Modul průřezu v ohybu:
$$W_o = \frac{J_y}{c} = \frac{\frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}}{\frac{D}{2}} = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot D}$$

Nominální napětí:
$$\sigma_{onom} = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{M_{omax} \cdot 32 \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)} = \frac{165,75 \cdot 32 \cdot 0,014}{\pi \cdot (0,014^4 - 0,010^4)}$$

$$\sigma_{onom} = 831,8 \text{ MPa}$$

Smykové napětí v ohybu:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{2 \cdot T}{S} = \frac{2 \cdot T}{\frac{\pi \cdot (d_2^2 - d_3^2)}{4}} = \frac{8 \cdot T}{\pi \cdot (d_2^2 - d_3^2)} = \\ \tau &= \frac{8 \cdot 15\,000}{\pi \cdot (0,014^2 - 0,01^2)} = 397,89 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Redukované napětí dle HMM:

$$\sigma_{redHMH} = \sqrt{\sigma_{onom}^2 + 3 \cdot \tau^2} =$$

$$\sigma_{redHMH} = \sqrt{831,8^2 + 3 \cdot 397,89^2} =$$

$$\sigma_{redHMH} = 1080,2 \text{ MPa}$$

Redukované napětí max τ :

$$\sigma_{red\tau} = \sqrt{\sigma_{onom}^2 + 4 \cdot \tau^2} =$$

$$\sigma_{red\tau} = \sqrt{831,8^2 + 4 \cdot 397,89^2} =$$

$$\sigma_{red\tau} = 1151,2 \text{ MPa}$$

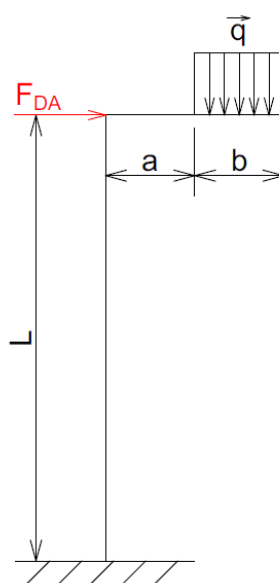
3.6.6 Výpočet posunutí

Aby bylo možné vypočítat hodnotu posunutí v bodě A a B, je nutné zavést doplňkové síly, podle které bude výpočet proveden (viz obr. 3.30 a 3.34). Tato síla má nulovou velikost, takže neovlivní žádné předchozí výpočty. Dále je potřeba určit kvadratické momenty ploch průřezů v jednotlivých částech prutové soustavy, které jsou rozděleny ve stejných místech, pro které se budou počítat VVÚ, čili:

- Část I: $J_{y1} = \frac{\pi \cdot (D_1^4 - D_3^4)}{64} = \frac{\pi \cdot (0,02^4 - 0,01^4)}{64}$
- Část II: $J_{y2} = \frac{\pi \cdot (D_2^4 - D_3^4)}{64} = \frac{\pi \cdot (0,014^4 - 0,01^4)}{64}$
- Část III: $J_{y3} = \frac{\pi \cdot (D_4^4 - D_5^4)}{64} = \frac{\pi \cdot (0,03^4 - 0,01^4)}{64}$

Výpočet posunutí v místě A (místo svaru)

- Je proveden z důvodu kontroly ohybu trubky railu.



Obr. 3.30 Zavedení doplňkové síly v místě B.

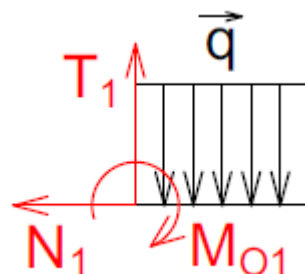
Výpočet VVÚ**Část I**

$$x \in (0 ; b)$$

$$X: N_1 = 0$$

$$Y: T_1 = q \cdot x - F_{DA}$$

$$M_o: M_{o1} = F_{DA} \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2}$$



Obr. 3.31 Uvolnění části I.

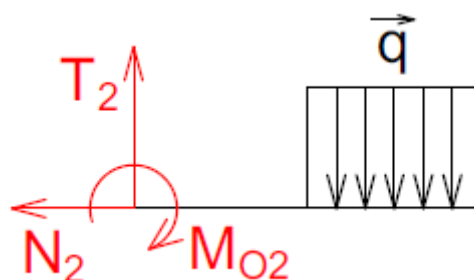
Část II

$$x \in (0 ; a)$$

$$X: N_2 = 0$$

$$Y: T_2 = q \cdot b - F_{DA} = 15 \text{ kN}$$

$$M_o: M_{o2} = F_{DA} \cdot (x + b) - q \cdot b \cdot \left(x + \frac{b}{2}\right)$$



Obr. 3.32 Uvolnění části II.

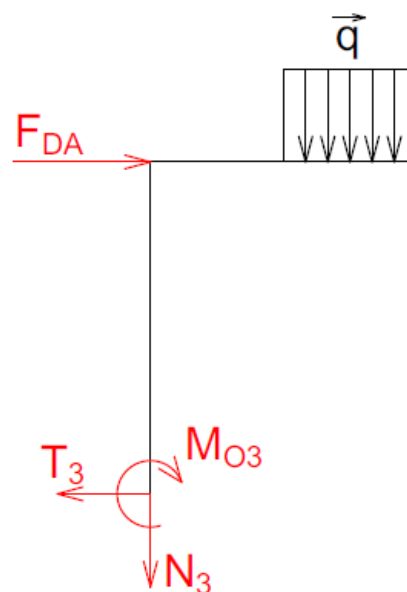
3,Část III

$$x \in (0 ; L)$$

$$X: T_3 = 0$$

$$Y: N_3 = F_{DA} - q \cdot b = -15 \text{ kN}$$

$$M_o: M_{o3} = F_{DA} \cdot (a + b) - q \cdot b \cdot \left(a + \frac{b}{2}\right)$$



Obr. 3.33 Uvolnění části III.

Výpočet posunutí

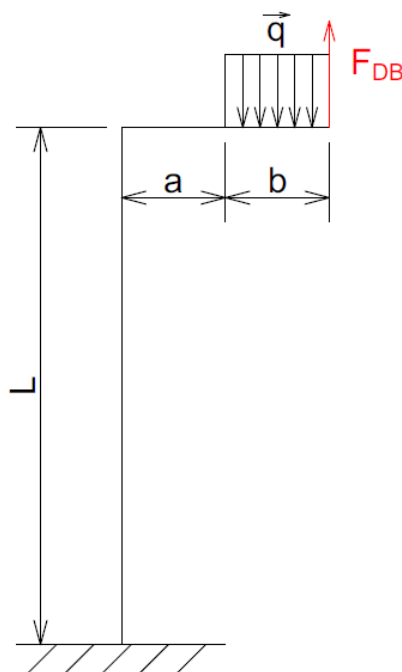
Vzorec pro výpočet posunutí vychází z Castigliánovy věty. Rovnice pro výpočet posunutí v místě A je následující:

$$\begin{aligned}
 u_{dA} &= \frac{\partial W}{\partial F_{DA}} = \sum \int \left(\frac{M_{oi}}{E \cdot J_y} \cdot \frac{\partial M_{oi}}{\partial F_{DA}} \right) dx = \\
 &= \int_0^b \frac{-q \cdot \frac{x^2}{2}}{E \cdot J_{y1}} \cdot 0 \cdot dx + \int_0^a \frac{-q \cdot b \cdot \left(x + \frac{b}{2}\right)}{E \cdot J_{y2}} \cdot 0 \cdot dx + \\
 &+ \int_0^L \frac{-F_{DA} \cdot x - q \cdot b \cdot \left(a + \frac{b}{2}\right)}{E \cdot J_{y3}} \cdot (-x) \cdot dx = \\
 &= \frac{q \cdot b \cdot \left(a + \frac{b}{2}\right) \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot J_{y3}} = \\
 u_{dA} &= 1,099702881 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Podle výpočtu dojde během ohybové zkoušky k ohnutí railu. Toto vychýlení dosáhne hodnoty 1,1 mm.

Výpočet posunutí v místě B (konec ND vývodu)

- Vyjadřuje, o kolik se ND vývod při ohybové zkoušce posune z klidové polohy.



Obr. 3.34 Zavedení doplňkové síly v místě B.

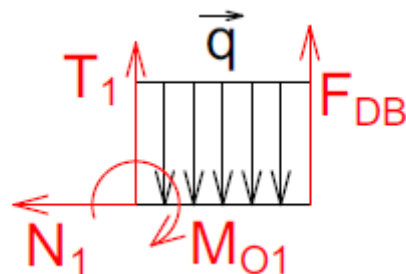
Výpočet VVÚ**Část I**

$$x \in (0 ; b)$$

$$X: N_1 = 0$$

$$Y: T_1 = q \cdot x - F_{DB}$$

$$M_o: M_{o1} = F_{DB} \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2}$$



Obr. 3.35 Uvolnění části I.

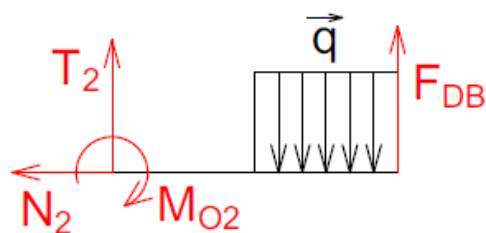
Část II

$$x \in (0 ; a)$$

$$X: N_2 = 0$$

$$Y: T_2 = q \cdot b - F_{DB} = 15 \text{ kN}$$

$$M_o: M_{o2} = F_{DB} \cdot (x + b) - q \cdot b \cdot \left(x + \frac{b}{2}\right)$$



Obr. 3.36 Uvolnění části II.

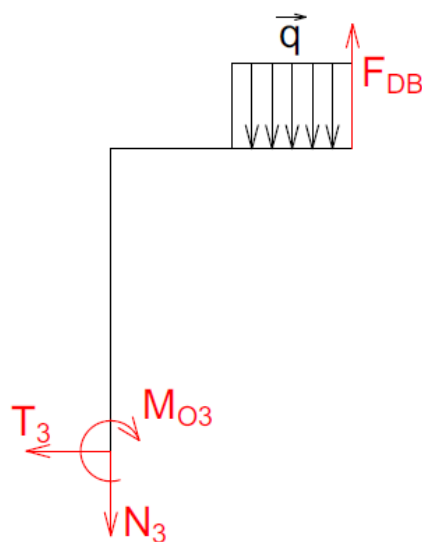
Část III

$$x \in (0 ; L)$$

$$X: T_3 = 0$$

$$Y: N_3 = F_{DB} - q \cdot b = -15 \text{ kN}$$

$$M_o: M_{o3} = F_{DB} \cdot (a + b) - q \cdot b \cdot \left(a + \frac{b}{2}\right)$$



Obr. 3.37 Uvolnění části III.

Výpočet posunutí

Vzorec pro výpočet posunutí vychází z Castigliánovy věty. Rovnice pro výpočet posunutí v místě B je následující:

$$\begin{aligned}
 u_{dB} &= \frac{\partial W}{\partial F_{DB}} = \sum \int \left(\frac{M_{oi}}{E \cdot J_y} \cdot \frac{\partial M_{oi}}{\partial F_{DB}} \right) dx = \\
 &= \int_0^b \frac{F_{DB} \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2}}{E \cdot J_{y1}} \cdot x \, dx + \int_0^a \frac{F_{DB} \cdot (x+b) - q \cdot b \cdot \left(x + \frac{b}{2}\right)}{E \cdot J_{y2}} \cdot (x+b) \, dx + \\
 &\quad + \int_0^L \frac{F_{DB} \cdot (a+b) - q \cdot b \cdot \left(a + \frac{b}{2}\right)}{E \cdot J_{y3}} \cdot (a+b) \, dx = \\
 &= -\frac{b^4 \cdot q}{8 \cdot E \cdot J_{y1}} - \frac{1}{E \cdot J_{y2}} \cdot \left(\frac{q \cdot b \cdot a^3}{3} + \frac{q \cdot b^2 \cdot a^2}{4} + \frac{q \cdot b^2 \cdot a^2}{2} + \frac{q \cdot b^3 \cdot a}{2} \right) + \\
 &\quad + \frac{1}{E \cdot J_{y3}} \cdot \left(q \cdot b \cdot a^2 \cdot L + q \cdot a \cdot \frac{b^2}{2} \cdot L + q \cdot b^2 \cdot a \cdot L + q \cdot \frac{b^2}{2} \cdot L \right) = \\
 u_{dB} &= 7,070334952 \cdot 10^{-5} \, m = 0,071 \, mm
 \end{aligned}$$

Hodnota posunutí dosahuje téměř 0,1 mm.

3.7 Kontrola výpočtů pomocí počítačového softwaru

Aby bylo možné výsledky výpočtů ověřit, byl vytvořen model v počítačovém programu Abaqus. Nejprve byl vytvořen model railu s navařeným ND vývodem. Poté byla vytvořena síť a zatížení imitující ohybovou trhací zkoušku. Následně byla spuštěna simulace, která měla ukázat, ve kterých místech a s jakou intenzitou dochází k namáhání součástí. Tyto materiály jsou vloženy do přílohy 1. Z výsledků této simulace je patrné, že k největšímu namáhání dochází v místě svaru a také na ND vývodu v místě, kde dochází ke změně válcové části na kuželovou. Vzhledem k tomu, že při této zkoušce dochází k utržení ND vývodu v místě svaru, lze tedy předpokládat, že mez pevnosti svaru je nižší než mez pevnosti ND komponenty. Hodnoty napětí v místě svaru se liší od teoreticky vypočtených hodnot. Tyto rozdíly jsou způsobené tím, že pro účely výpočtu byl rail znázorněn jako prut, a také kuželová část nízkotlakého vývodu byla brána jako válcová. Obecně však bylo potvrzeno místo, kde dochází k největší akumulaci napětí a řádově tyto hodnoty také odpovídají.

3.8 Výsledek ohybové trhací zkoušky

Výsledkem ohybové trhací zkoušky je utržení ND vývodu. Průběh této zkoušky se zaznamenává a následně je vyhodnocen v počítačovém programu. Výslednými hodnotami jsou maximální síla potřebná k utržení ND vývodu F_{\max} a také dráha naměřená v průběhu zkoušky (viz obr. 3.38). Dále se provádí kontrola provaření ND vývodu, který se vloží pod mikroskop. Zde se určí minimální šířka prodloužení. Při této kontrole se dá určit i velký a malý průměr svaru, díky kterému se dá spočítat obsah svařené části. Pomocí spočítaného obsahu svaru a maximální síle nutné k utržení ND vývodu se dá spočítat mez pevnosti ve svaru. Pro představu bude nyní proveden výpočet meze pevnosti pro svařený kus, kterému odpovídá křivka v obrázku 3.38. Tento výsledek bude dále porovnán s hodnotami mezí pevností pro materiál trubky railu a materiálem ND vývodu.

Naměřené hodnoty:

- $F_{\max} = 15,625 \text{ kN}$
- $D_1 = 13,2 \text{ mm}$
- $D_2 = 10,0 \text{ mm}$

Výpočet obsahu svaru (mezikruží):

$$S = \frac{\pi \cdot (D_1^2 - D_2^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (13,2^2 - 10^2)}{4} = 58,308 \text{ mm}^2$$

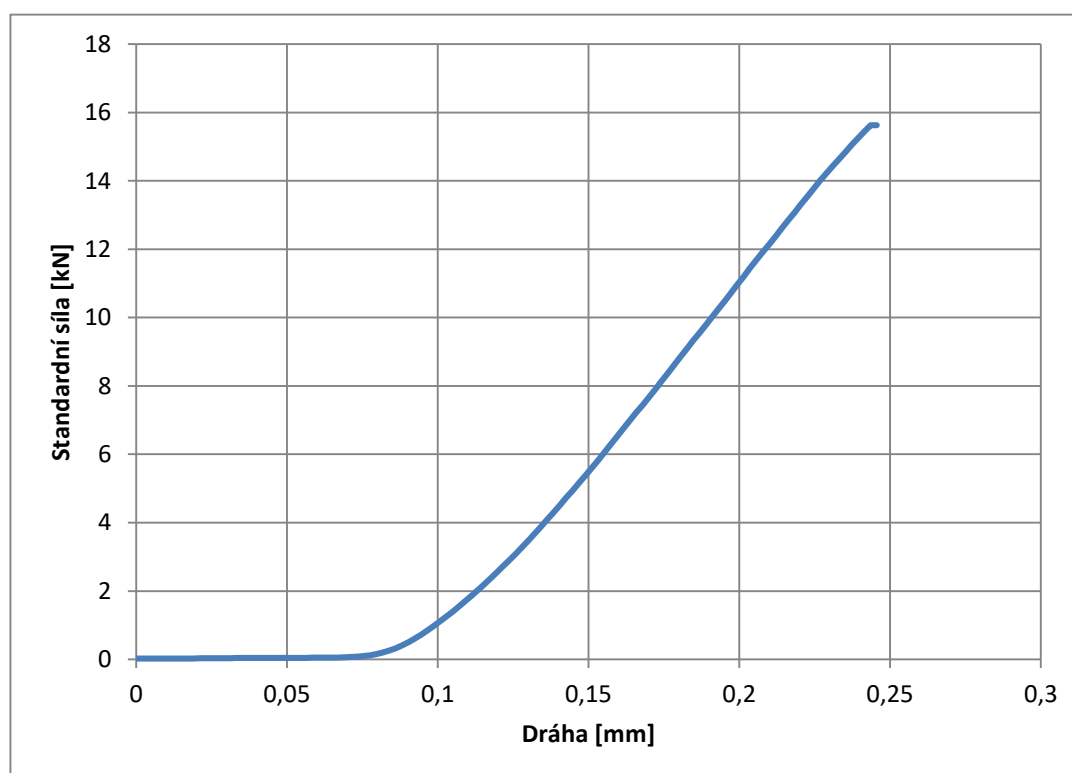
Výpočet meze pevnosti svaru:

$$R_M = \frac{F_{\max}}{S} = \frac{15\,625}{58,308} = 267,974 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 267,974 \text{ MPa}$$

Hodnoty mezi pevností [14]:

- Mez pevnosti trubky railu $R_{M1} = 930 \text{ MPa}$
- Mez pevnosti ND vývodu $R_{M2} = 570 \text{ MPa}$
- Mez pevnosti ve svaru $R_{M3} = 268 \text{ MPa}$

Z těchto hodnot je patrné, že mez pevnosti svaru je výrazně nižší než meze pevností obou svařovaných součástí. Tento fakt je způsoben změnou struktury při svařování, kdy dochází k roztavení materiálu a následnému tuhnutí. Oblast svaru má tak jinou strukturu a mechanické vlastnosti než základní komponenty.

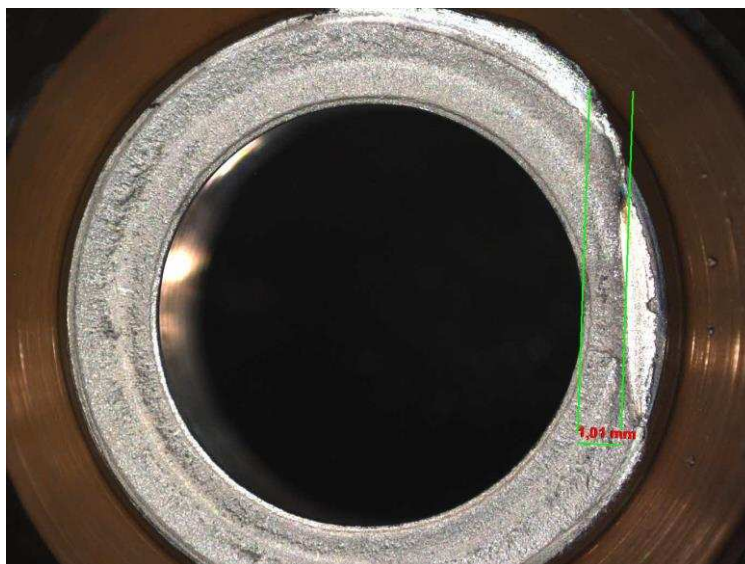


Obr. 3.38 Výstup programu ohybové trhačí zkoušky.

4 SOUČASNÝ STAV SVAŘOVÁNÍ ND VÝVODU

4.1 Historie tohoto typu ND vývodu

Tento typ nízkotlakého vývodu, respektive tento typ railu, se v jihlavském závodě začal vyrábět od června roku 2007. Tento typ railu se vyráběl v malém množství a byl zařazen do typového spektra jako „exot“ („neobvyklý typ, speciál“). Již od zavedení tohoto typu do výroby následovaly problémy s navařením nízkotlakého vývodu. Při svařování docházelo ke špatnému provaření součástí a ke vzniku zúžení svaru. Tento defekt byl nalezen po provedení ohybové trhací zkoušky, kdy byl utržen nízkotlaký vývod, jehož otisk svaru byl zkoumán pod mikroskopem (viz obr. 4.1). Zákazníkem požadovaná šířka provaření, která je stanovená na 1,5 mm, tak nebyla dosažena a bylo nutné vymyslet, jak tento problém vyřešit. Jelikož ale množství vyráběných kusů nebylo tak velké, řešil se tento problém tím, že se nízkotlaké vývody navařovaly na mimosériové lince a po navaření ND vývodu se přepravily zpět na sériovou stanici k dokončení zbylého svařovacího procesu. Takto výroba fungovala do doby, než začali zákazníci požadovat větší množství vyrobených kusů v častějších intervalech.



Obr. 4.1 Zúžený svar

Z „exota“ se stal „renner“ („běžně vyráběný typ“) a problémy s výrobou se stupňovaly. Na běžné sériové lince docházelo k výpadkům, které dosahovaly až 40%. Při sledování procesu bylo zjištěno, že vliv na kvalitu svaru při odporovém svařování má druh šarže. Jednotlivé šarže se vyrábí za stejných podmínek, avšak i malé odchylky mají vliv na kvalitu svaření. Při samotném svařování bylo nutné měnit parametry tak, aby bylo dosaženo požadované kvality svaru. Měnily se proto vstupní parametry jako jsou tlak, proud nebo svařovací čas. To ovšem sebou neslo další rizika. Nezřídka se stalo, že při zvýšení tlaku došlo ve styku mezi trubkou railu a svařovacími elektrodami k posunutí, tím vznikla malá vůle mezi těmito částmi a došlo ke zvýšení přechodového odporu, který měl za důsledek vyhoření svařovací elektrody. Následovala tak nucená odstávka linky, výměna elektrod a ztráta výrobní produktivity. Tyto aspekty měly vliv na růst nákladů, spojených s výrobou tohoto typu railu.

4.2 Proces svařování a kontroly ND vývodu

Proces odporového svařování probíhá v plně automatickém režimu, kdy je rail zakládán na vstupním a zároveň výstupním stanovišti. Před spuštěním výroby je nutné, aby pracovník „seřizovač“ správně připravil stanici odporového svařování. Při nastavování musí vložit správnou sadu svařovacích elektrod, dále vyměnit vibrační lištu přivádějící ND vývody, dělicí kostku a vyhazovací trn. Když je stanice připravena, nastaví program, který má již přednastavené svařovací parametry pro daný typ railu. Tyto parametry jsou také zapsané v návodce, která je součástí výrobních návodů umístěných na kontrolní stanici příslušné svařovací linky. Nyní je stanice připravena ke svařování a seřizovač svaří první rail, který je přenesen na měrové středisko, kde dojde ke změření rozměrů. Následně je u tohoto kusu provedena ohybová trhací zkouška, kdy je vyhodnocena síla potřebná k utržení ND vývodu a otisk svařené plochy ND vývodu pod mikroskopem, kde se stanoví nejužší část svaru. Velikost této síly musí být minimálně 10 kN a minimální šířka provaření v nejužším místě alespoň 1,5 mm.

Pokud je vše v pořádku, dojde k uvolnění linky a výroba může začít. Pokud však výsledky zkoušky neodpovídají předpisům, musí seřizovač provést korekci v nastavení svařovacích parametrů, provést další svaření jednoho kusu, nechat ho přeměřit a vyhodnotit ohybovou trhací zkoušku. U tohoto typu ND vývodu bývá často problém s nastavením těchto parametrů, protože svařování předepsanými parametry většinou nedokáže provařit materiál ND vývodu tak, aby bylo dosaženo minimální požadované hodnoty tloušťky provaření. Z těchto důvodů bývá většinou obtížné udržet svařovací parametry v předdefinovaných mezích.

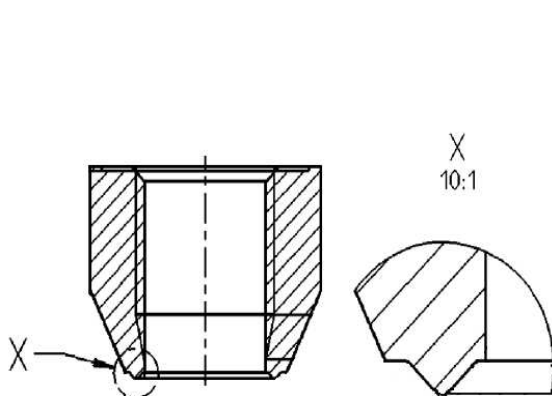
Během výroby dochází opětovně k průběžné kontrole formou ohybové trhací zkoušky a k vyhodnocení minimální šířky svaru. Pokud je nalezen zmetkový kus, musí se zablokovat předchozí 3 vyrobené kusy a provést u nich přeměření, ohybová trhací zkouška a kontrola provaření. Pokud jsou všechny hodnoty kontroly v pořádku, je výroba opět uvolněna. Když se ale některá z hodnot liší od té povolené, dojde k blokaci linky a svařených kusů vyrobených po předešlém měření, což odpovídá 250 kusům. Toto rozhodnutí provádí technolog pro odporové svařování nebo kvalitář. Tato blokáce stojí výrobní oddělení čas, který má vliv na produktivitu stanice, a také peníze, které byly vloženy do materiálu a výroby polotovaru, který může být po zablokování vyzmetkován. Další korekce svařovacích parametrů, zaměřených na odstranění problému, může mít za důsledek vyhoření elektrod. Cílem korekce je nastavení parametrů tak, aby se zvýšilo množství tepla při svařování. Toho lze dosáhnout změnou hodnot svařovacího proudu, tlaku či času svařování. Toto množství tepla po korekci dosáhne takové hodnoty, že jí elektrody neodolají a dojde k jejich vyhoření. Tento scénář je nejhorší, protože dojde ke kompletnímu odstavení svařovací linky. Zničené elektrody musí být vyměněny za nové, celá stanice musí být znovu uvolněna a teprve poté lze znovu zahájit výrobu. Čas pro odstranění této nehody může dosahovat až 1 hodiny.

5 NÁVRH NOVÉHO DESIGNU A VÝROBY ND VÝVODU

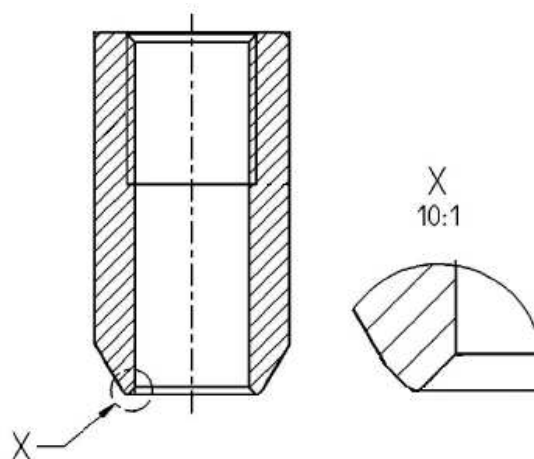
Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, problémem svařovacího procesu tohoto typu railu je špatné provaření nízkotlaké komponenty ND (dále jen komponenta A). Tento defekt v nejhorších případech obsahovalo 40% produktů z celkového množství vyrobených kusů. Uvedené má veliký dopad jak na výrobní produktivitu, tak na ekonomickou stránku firmy, proto bylo nutné odstranit příčinu tohoto problému.

5.1 Hledání příčiny zúženého svaru

V portfoliu firmy BOSCH DIESEL s.r.o. jsou řádově desítky typů railů, které obsahují komponent nízkotlakého vývodu ND. Vzhledem k tomu, že uvedený problém se u jiných typů nevyskytuje, bylo provedeno prozkoumání svařovacího procesu typu railu, který má obdobnou ND komponentu (dále jen komponenta B). Svařovací proces railu s komponentou B byl podobný svařovacímu procesu railu s komponentou A, tudíž problémy s provařením by se měly vyskytnout na obou typech railů nebo naopak na žádném. Svařovací parametry tudíž byly vyloučeny jako iniciátor špatného provaření svaru. Dále byl sledován materiál railu a ND komponent. Ani zde nebyl patrný žádný rozdíl. V poslední řadě byla kontrolována geometrie obou nízkotlakých komponent ND. Zde už je patrný rozdíl. Jak je vidět na obrázku 5.1, na komponentě A je vytvořené malé osazení nad výstupkem, které komponenta B na obrázku 5.2 nemá. Ostatní části geometrie nejsou nijak výrazně odlišné.



Obr. 5.1 Geometrie komponenty A.

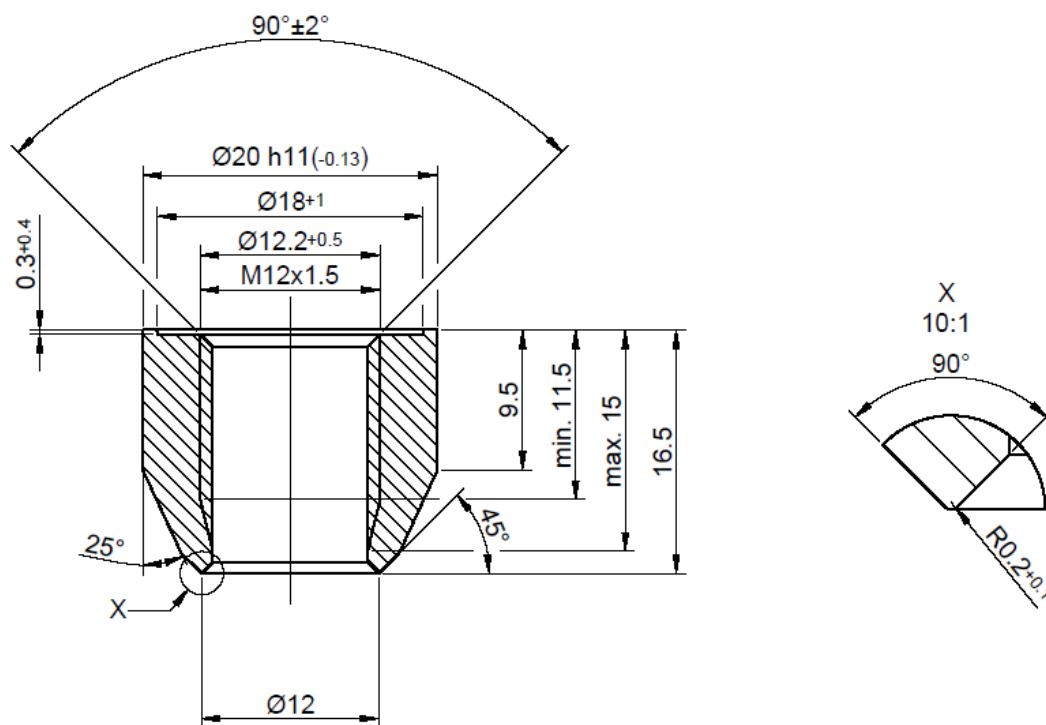


Obr. 5.2 Geometrie komponenty B.

Touto analýzou byla nalezena pravděpodobná příčina stávajícího problému. Pro potvrzení byla tato hypotéza ověřena měřením, kdy se zjišťovalo, zda výška komponenty A po svařování klesne na nižší hodnotu, než je výška v místě osazení. Ze změřených kusů bylo zjištěno, že průměrná výška ND po svaření dosahuje hodnoty přibližně 15,8 mm. Výška osazení je však 16 mm, což znamená, že při svařování dochází k natavení i této osazené plochy. Po provedení trhací zkoušky bylo na odtrženém vzorku nízkotlakého vývodu pod mikroskopem patrné, že při svaření došlo nejspíše ke špatnému natavení osazené plochy a vlivem působícího tlaku byl materiál přilepen, nikoliv přivařen. Tímto testem byla tedy ověřena hypotéza špatné geometrie komponenty A.

5.2 Návrh nového designu ND vývodu

Cílem návrhu nového designu komponenty ND vývodu bylo odstranění osazené plochy, která zabraňovala požadovanému provaření svaru. Návrh nové geometrie byl inspirován již zavedenými komponenty, které dosahují dlouhodobě stabilního svařovacího procesu. Výsledný nový design komponenty A nízkotlakého vývodu je vyobrazen v obrázku 5.3.



Obr. 5.3 Návrh nového designu komponenty ND.

Nově navržená konstrukce ND vývodu se od té původní liší pouze ve spodní výstupkové části. Původní osazení bylo odstraněno a nahrazeno plynulými přechody, které napomáhají správnému natavení během svařovacího procesu, čímž by mělo být zaručeno správné provaření po celém průřezu. Úhel špičky výstupku byl ponechán 90°, protože tato hodnota se již osvědčila i u jiných typů.

5.3 Výroba ND vývodu

Tato změna designu by neměla mít zásadní vliv na výrobu komponenty. Společnost BOSCH DIESEL s.r.o. si všechny drobné komponenty, včetně nízkotlakých vývodů ND nechává vyrábět externí firmou, proto zde bude navržen výrobní postup, který by tato firma mohla v případě zájmu použít.

Materiálem tohoto ND vývodu je ocel 11SMn30, vysokovýkonná automatová ocel na součásti v automobilovém průmyslu, kterou je možno cementovat. Nízkotlaký ventil ND je rotační komponenta, pro kterou bylo zvoleno třískové obrábění CNC soustruhem. Ve společnosti BOSCH DIESEL s.r.o. se již delší dobu používají CNC obráběcí soustruhová centra značky EMAG, v současné době je zde v provozu okolo 15 těchto strojů. Zkušenosti

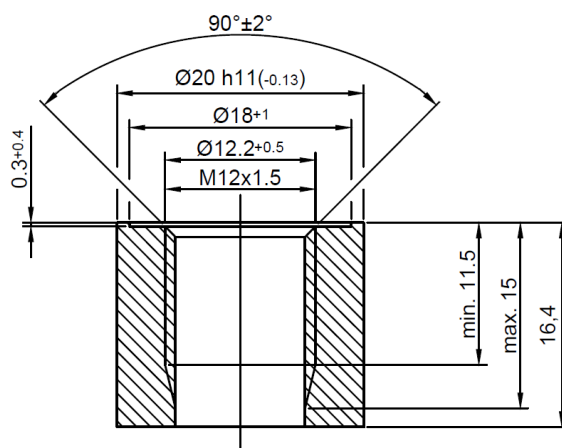
s těmito stroji jsou bohaté a spokojenost veliká, proto byl pro výrobu tohoto komponentu vybrán stroj stejné značky. Jedná se o typ CNC soustruhu EMAG VL2 (viz obr. 5.4). Součástí tohoto stroje je dopravníkový pás, který přemísťuje polotovary do pracovní části stroje. Hlavní rotační i posuvové pohyby při obrábění koná součást, nástroje jsou pevně upnuty v otočné nástrojové věži, do které lze upnout až 12 pracovních nástrojů. Vzhledem k rozměrům součásti ND vývodu není problém s maximálními vzdálenostmi, kterých je stroj schopen dosáhnout.

5.3.1 Postup obrábění ND vývodu

Výroba celého komponentu ND vývodu by měla být vytvořena na dvě upnutí. Polotovarem je ocelová tyč tažená za studena o průměru 24 mm a délce 3 m. Na první upnutí je celá tyč upnuta ve vřetenu soustruhu, obrábí se vnější tolerovaný průměr $\varnothing 20$ h11 a ostatní vnitřní plochy, díry a závity. Nakonec je kus upíchnut. Tento postup zůstává od předchozího postupu dodavatele nezměněn. Následné druhé upnutí a obrábění je již nový návrh odpovídající nové konstrukci ND vývodu.

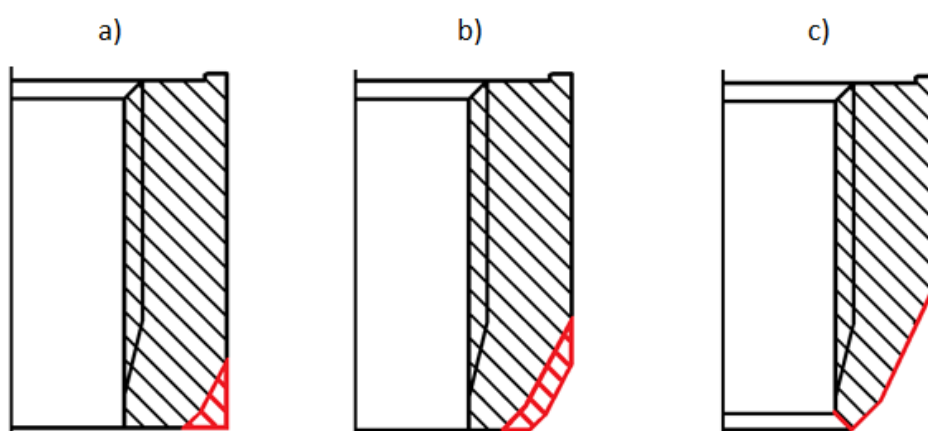


Obr. 5.4 CNC obráběcí soustruh EMAG VL2 [15].



Obr. 5.5 Polotovar pro obrábění ND vývodu.

Upíchnutá součást je polotovarem pro druhou část obrábění (viz obr. 5.5), která již probíhá na CNC soustruhu EMAG VL2. Polotovaz se založí na dopravníkový pás, který jej přemístí do pracovního prostoru. Zde dojde k upnutí součásti do čelistí. Tím dochází k úspoře času, protože není nutné polotovaz upínat do přípravku po jednom kuse a na konci procesu zase ručně odebírat. První operace je hrubování (viz obr. 5.6 pod označením a a b). Ta je rozdělená na dvě části, respektive proces obsahuje odebrání dvou třisek. Je to z toho důvodu, že obráběná součást je malých rozměrů a plocha upnutí by nemusela být dostatečně velká, aby odolala silám a tlakům vznikajících během obráběcího procesu. Po hrubování součásti následuje dokončovací operace soustružení načisto (viz obr. 5.6 pod označením c), kterou se obrobí finální tvar ND vývodu. Poté je součást vrácena zpět na dopravníkový pás.



Obr. 5.6 Jednotlivé operace obrábění.

Nástroje pro obrábění této součásti byly vyhledávány v katalozích nástrojů různých firem. Nejvhodnějším nástrojem pro operaci hrubování byl shledán soustružnický nůž od firmy Sandvik. Ten se skládá ze tří částí, kterými jsou:

- upínka Sandvik C4 – DSKNR/L – 27050 – 12,
- držák Sandvik SNMG 12 04 08,
- VBD Sandvik 4235 SNMG 12 04 08 – PR.

Pro operaci dokončování bylo nutné vybrat vhodnou vyměnitelnou břitovou destičku s odpovídajícím držákem. Jako vyhovující byl vybrán soustružnický nůž od firmy ISCAR, skládající se z:

- držáku ISCAR A16R SVJCR/L – 11,
- VBD ISCAR VCET 1103005R/L – WF.

Specifikace parametrů nástrojů a vyměnitelných břitových destiček jsou umístěné v příloze 2.

5.3.2 NC program

Pro výrobu ND vývodu již byl určen polotovaz, postup obrábění a jednotlivé nástroje odpovídající obráběcí operaci. V poslední řadě je nutné vytvořit NC program, díky kterému bude CNC soustruh schopen požadovanou součást obrobit. Stroje EMAG se v jihlavském

závodě programují ve dvou programech. Jedním z nich je program SINUMERIK 840D, ve kterém bude napsán i program pro obrábění součásti ND vývodu.

CNC program:

```
%_N_POUZDRO_MPF
```

```
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_RAIL_WPD
```

```
T="1"          ; HRUBOVACI NUZ  
STOPRE
```

```
MSG("HRUBOVANI UKOSU VENKOVNI PRUMER")
```

```
G90 G95 G64 G17 G54 M8  
M3 S3180 F0.15  
G0 X14.37 Z17.4  
G1 G42 X17.73 Z15.72  
G1 X22 Z11.141  
G0 Z20  
G0 X10.976 Z17.4  
G1 X15.734 Z15.021  
G1 X22 Z8.302  
G0 Z200 M9
```

```
T="2"          ; DOKONCOVACI NUZ  
STOPRE
```

```
MSG("SOUSTUZENI NA CISTO ZE VNITR VEN")
```

```
G90 G95 G64 G17 G54 M8  
M3 S4400 F0.1  
G0 X10.5  
G0 Z15.45  
G1 G42 X11.801 Z16.351  
G3 X12.177 Z16.353 CR=0.25  
G1 X14.842 Z15.031  
G1 X22 Z7.355  
G0 Z200 M5 M9
```

```
M30
```

6 EXPERIMENTÁLNÍ URČENÍ PARAMETRŮ ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ

Nová konstrukce nízkotlakého vývodu ND se od té původní tolik neliší, ovšem změna, která byla vytvořena, je pro svaření této komponenty zásadní. Se správnými svařovacími parametry by měl být eliminován problém, který doprovázel svařování ND vývodu se starým designem. Stanovení svařovacích parametrů bude provedeno experimentálně, podle rad technologa pro odporové svařování ve společnosti BOSCH DIESEL s.r.o. v Jihlavě.

6.1 Příprava vzorků

Před zahájením experimentu je nutné zajistit vzorky v podobě trubek railu a nízkotlakých vývodů ND, které budou postupně svařovány. Výroba trubek railu bude provedena přímo na výrobní lince svařovaných railů, dle výrobní dokumentace a předpisů. Nízkotlaké vývody se starou konstrukcí byly převezeny na podpůrné oddělení TEF (oddělení firmy Bosch Diesel s.r.o.), kde byla provedena úprava dle výkresu s novou geometrií. Poté byly upravené ND vývody převezeny zpět na svařovací linku. Pro potřebu zkoušky bylo vyhrazeno 110 kusů obou komponent.

6.2 Provedení experimentu

Tento experiment má za úkol nalézt parametry odporového svařování pro svaření ND komponenty s novou geometrií. Parametry ovlivňující svařovací proces jsou podle Joule-Lenzeova zákona (1) svařovací proud, čas a přechodový odpor. Přechodový odpor je závislý na tlaku, kterým jsou komponenty k sobě přitlačovány. Čím větším tlakem jsou k sobě součásti přitlačovány, tím menší je mezi nimi vzdálenost a přechodový odpor klesá. Naopak při menší hodnotě tlaku přitlačování je vůle mezi svařovanými komponentami větší a i přechodový odpor se zvyšuje. Na stanici odporového svařování lze nastavovat a ovlivňovat 4 základní parametry, kterými jsou:

- svařovací proud,
- tlak,
- svařovací čas,
- dohřívací proud.

Dohřívací proud má vliv na pevnost svaru, ale zároveň i na jeho strukturu. Nastavením tohoto parametru roste pevnost svarového spoje, ale zároveň dochází k tomu, že je svar křehký. V případě tohoto experimentu byl, na základě praktických zkušeností technologa, dohřívací svařovací proud stanoven na hodnotu $I = 600$ A. Zbýlé tři parametry byly během experimentu měněny a u každého nastavení bylo svařeno 5 kusů.

Průběh experimentu byl proveden za spolupráce s technologem pro odporové svařování, který navrhl i postup, kterým byly hledány svařovací parametry. Tento postup je rozdělen na dvě části. První část je založena na nastavení dvou parametrů, které zůstanou konstantní, a třetí parametr se bude měnit. Hledání těchto parametrů vychází ze svařovacích parametrů původních. Po svaření komponent bude provedena ohybová trhací zkouška, během které bude vyhodnocována maximální síla při utržení. Tím by měla být získána závislost a průběh tohoto parametru v závislosti na maximální síle při utržení ND vývodu. Tento postup bude aplikován pro všechny tři parametry. Výsledkem by mělo být zjištění optimálních hodnot

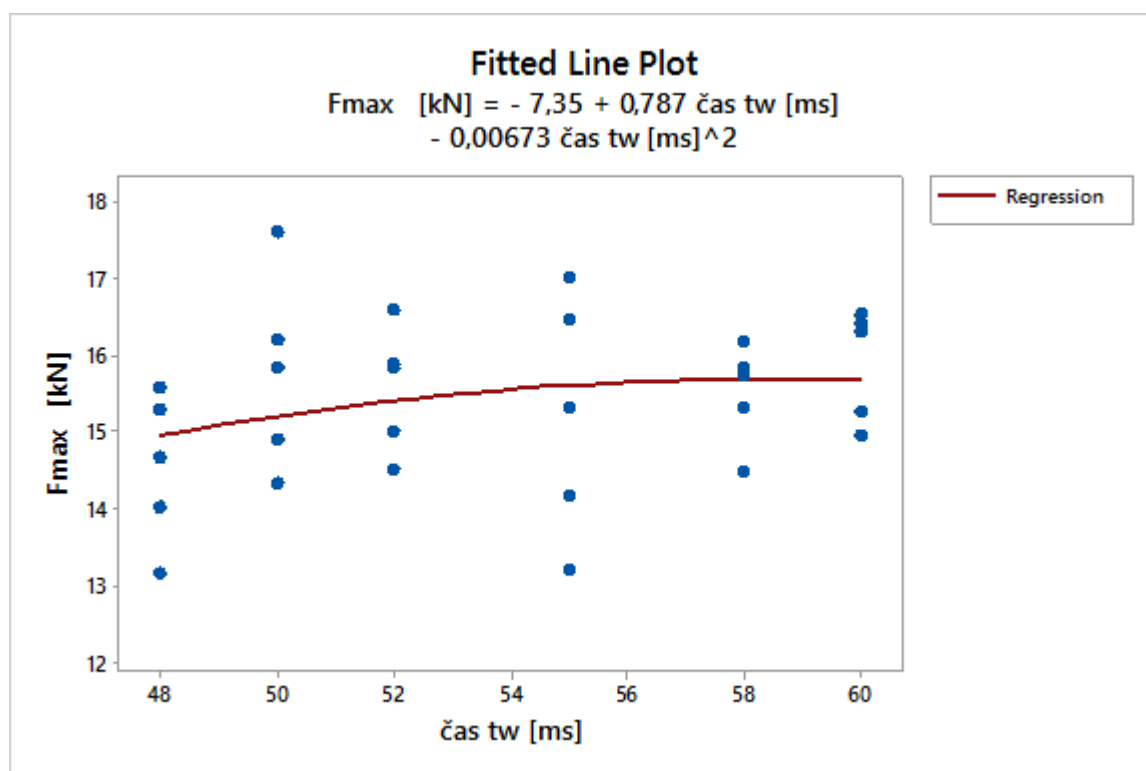
jednotlivých parametrů. Ve druhé části experimentu budou tyto optimální parametry dále nastaveny pro závěrečný experiment.

6.2.1 Závislost svařovacího času při odporovém svařování

Prvním hledaným parametrem byl svařovací čas. Zbylé dva parametry byly nastaveny na následující hodnoty:

- svařovací proud $I_{ef} = 27\,000\text{ A}$,
- tlak $p = 4,4\text{ baru}$.

Počáteční nastavená hodnota svařovacího času byla $t_w = 48\text{ ms}$. Tato hodnota poté byla navýšena průběžně na 50, 52, 55, 58 a 60 ms. U každého nastavení bylo provedeno svaření pěti kusů railů, které byly následně vystavené ohybové trhačí zkoušce. Z těchto hodnot byl sestaven graf (viz obr. 6.1) ve statistickém programu Minitab.



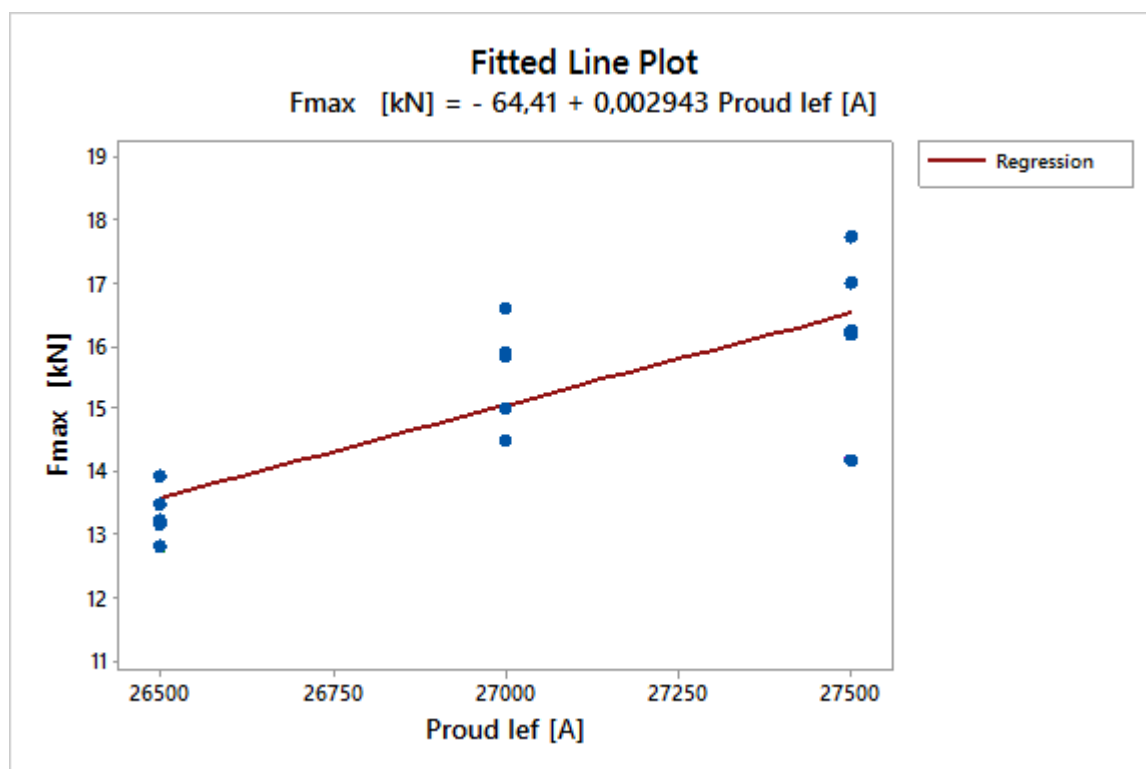
Obr. 6.1 Závislost svařovacího času t_w na maximální síle nutné k utržení ND vývodu F_{max} .

V grafu jsou vyznačené modré body, které znázorňují naměřené hodnoty jednotlivých svařených kusů při nastavených parametrech. Červená křivka znázorňuje závislost tlaku a maximální síly nutné k utržení ND vývodu. Tato křivka má pomalu rostoucí charakter, který kolem hodnoty $t_w = 54\text{ ms}$ začíná stagnovat. Z této závislosti byla pro další části experimentu vybrána hodnota svařovacího času $t_w = 54\text{ ms}$.

6.2.2 Závislost svařovacího proudu při odporovém svařování

V předchozí části experimentu byla získána hodnota svařovacího času $t_w = 54\text{ ms}$, která nyní zůstane konstantní, stejně jako tlak, který bude nabývat hodnoty $p = 4,4\text{ baru}$. Hodnota proudu je zpočátku nastavena na $I_{ef} = 26\,500\text{ A}$, dále bude tato hodnota navýšena na $27\,000$

a 27 500 A. Podle zkušeností technologa by tato závislost měla být téměř lineárně rostoucí, proto byly nastaveny pouze tři hodnoty tohoto parametru. Následně byla provedena ohybová trhací zkouška na všech 15 navařených vzorcích. Výsledná závislost je patrná z grafu (viz obr. 6.3).

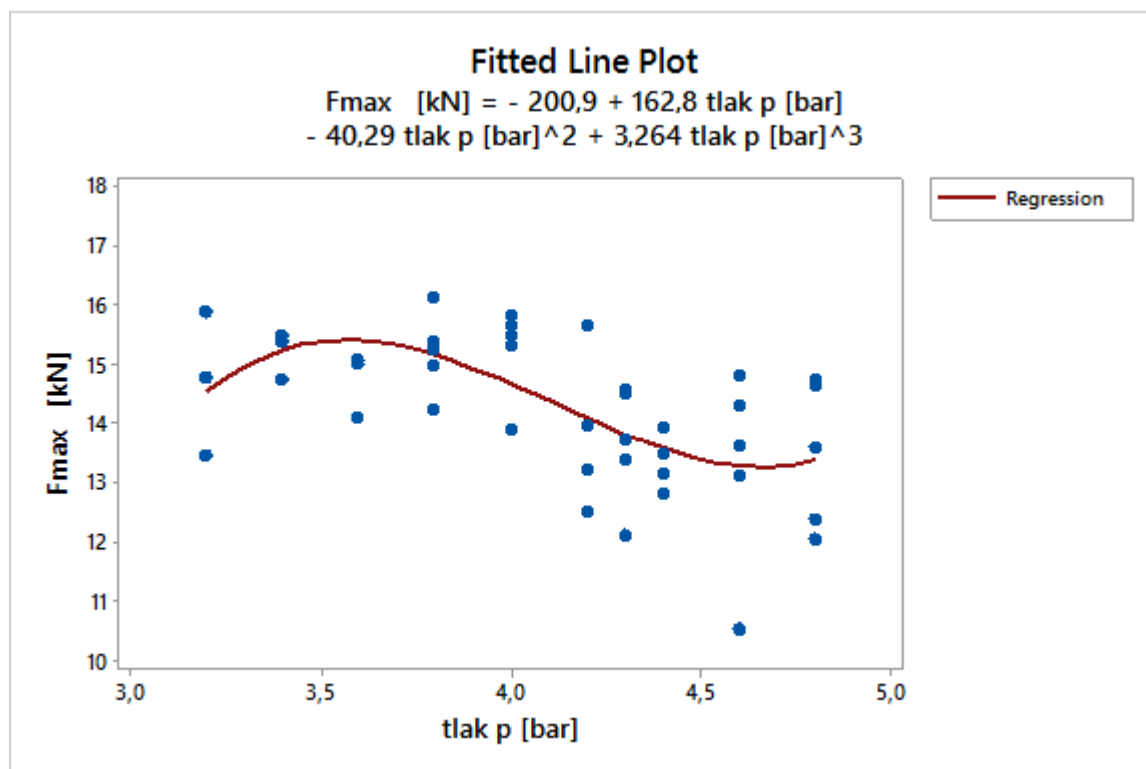


Obr. 6.2 Závislost svařovacího proudu I_{ef} na maximální síle nutné k utržení ND vývodu F_{max} .

Předchozí předpoklad technologa, že závislost svařovacího proudu je lineárně rostoucí, byl provedenými měřeními potvrzen, což je patrné i z uvedeného grafu. Otázkou je, zda by tento závěr byl potvrzen i při nastavení většího rozpětí hodnot svařovacího proudu. Svařovací proud se obvykle pohybuje do hodnoty $I_{ef} = 27\,000$ A, u vyšších hodnot hrozí riziko vypálení elektrod vlivem velkého množství tepla, vzniklého při svařovacím procesu. Z tohoto důvodu byla zvolena jako výchozí hodnota svařovacího proudu $I_{ef} = 26\,500$ A. Tato hodnota se shoduje i s hodnotou nastavenou pro svařování s původní konstrukcí.

6.2.3 Závislost tlaku při odporovém svařování

Při hledání závislosti tlaku byly další dva parametry nastaveny na konstantní hodnotu, kdy byl svařovací proud $I_{ef} = 26\,500$ A a čas svařování $t_w = 52$ ms (získané v předchozích experimentech). První hodnota tlaku byla nastavena na $p = 3,2$ baru, dále byla zvyšována vždy o hodnotu 0,2 baru, dokud nedosáhla hodnoty $p = 4,8$ baru. Tyto svařené kusy byly následně testovány ohybovou trhací zkouškou.



Obr. 6.3 Závislost tlaku p na maximální síle nutné k utržení ND vývodu F_{\max} .

Z grafu je patrné, že křivka má tvar sinusoidy. Hodnoty okolo 3,5 baru mají sice vyšší hodnotu F_{\max} , ale právě díky nízkému tlaku docházelo při odporovém svařování k nárůstu přechodového odporu mezi trubkou railu a měděnou elektrodou. To mělo za následek opálení trubky railu, které je nepřijatelné. U hodnoty tlaku vyšší než 5 barů dochází k otlakům na elektrodách, které snižují jejich životnost. Z uvedených důvodů byl jako ideální vybrán tlak o velikosti $p = 4,0$ baru.

6.2.4 Závěrečná část experimentu

Po získání všech závislostí byly stanoveny hodnoty všech svařovacích parametrů. Ty budou nyní dále ověřovány v druhé a zároveň závěrečné části experimentu. V této části bude svařeno 30 kusů railů s těmito nastavenými parametry:

- svařovací proud $I_{\text{ef}} = 26\,500 \text{ A}$,
- tlak $p = 4,0$ baru,
- svařovací čas $t_w = 52 \text{ ms}$,
- dohřívací proud $I = 600 \text{ A}$.

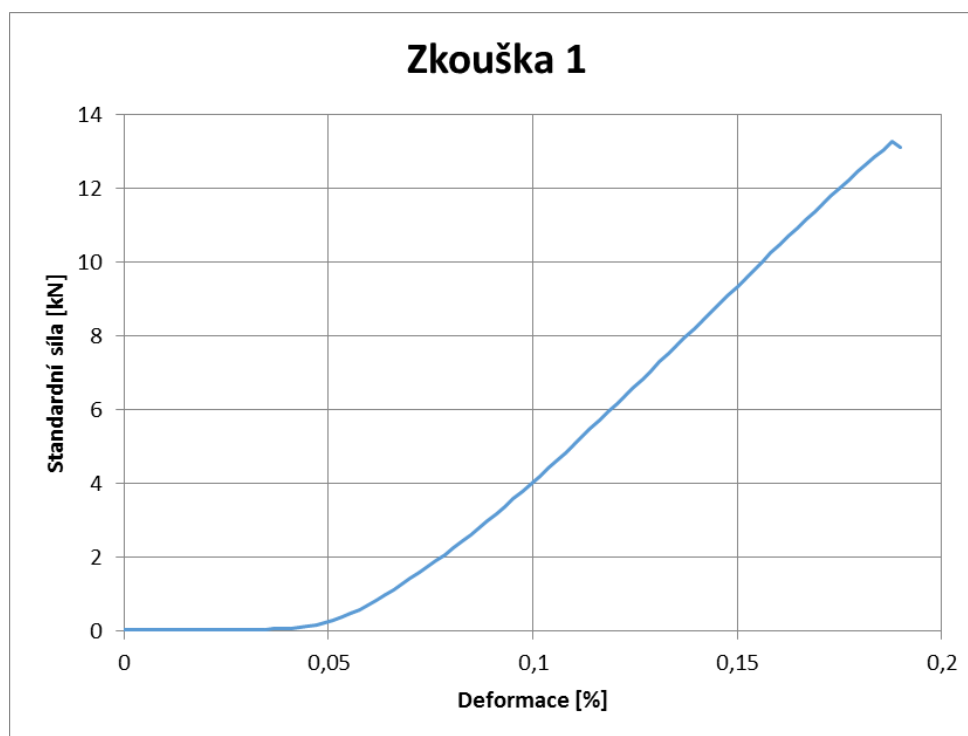
Tyto kusy byly označeny a zakládány přímo do vozíků, odkud byly na pásovém dopravníku transportovány do stanice odporového svařování. Proces tak probíhal automaticky. Po svaření všech kusů bylo provedeno měření všech rozměrů požadovaných zákazníkem. Tato kontrola byla vykonána na měrovém středisku na stroji Digimar, který dokáže měřit na tisíce milimetru. Po změření byly kusy vystaveny ohybové trhačské zkoušce, kdy bylo provedeno utržení ND vývodu a následně zkontrolována šířka provaření. Tyto dokumenty

(viz příloha 3) a hodnoty pak byly zapsány do tabulky a porovnány s požadovanými hodnotami zákazníka (viz příloha 4). Z této tabulky vyplývá, že všechny naměřené hodnoty jsou v toleranci. Za zmínku stojí hlavně zvýšení maximální síly nutné k utržení ND vývodu. Zákazník požaduje, aby tato hodnota dosahovala minimálně 10 kN. Nejmenší hodnota, která byla při tomto experimentu naměřena, nabývala hodnoty 13,271 kN (viz tabulka 2 a obr. 6.4), a průměrná hodnota této maximální síly činila $F_{\max} = 14,801$ kN. To je téměř o polovinu více, než je požadovaná hodnota. Problém, který doprovázel proces se starou konstrukcí ND vývodu, se během experimentu neobjevil. Lze tedy říci, že změna konstrukce, ve spolupráci s vybranými svařovacími parametry, tento problém špatné provařitelnosti eliminovala.

Tabulka 2 Hodnoty výsledného experimentu.

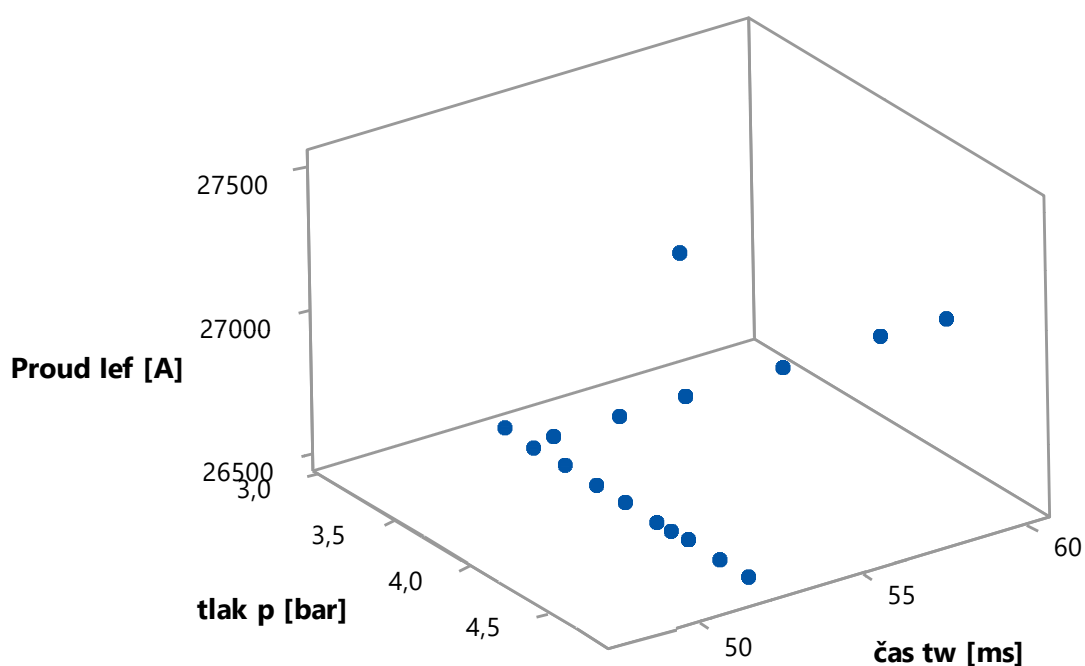
Hodnota	úhel natočení ND $184 \pm 1^\circ$	výška ND $28,9 \pm 0,2$ [mm]	maximální sřižná síla F_{\max} min. 10 [kN]	šířka provaření 1,5 [mm]
Minimální hodnota	183,594	28,927	13,271	1,58
Maximální hodnota	184,014	29,099	16,325	1,78
Průměrná hodnota	183,871	29,020	14,801	1,65

Tyto hodnoty byly zkontrolovány s technologem pro odporové svařování. Výsledek experimentu splnil očekávání. Naměřené hodnoty jsou v toleranci a není nutné proto dělat další změny. Problém špatného provaření při odporovém svařování se starou konstrukcí ND vývodu byl eliminován, což bylo cílem této diplomové práce. Společnost BOSCH DIESEL s.r.o. je s výsledkem experimentu spokojena.



Obr. 6.4 Nejnižší hodnota maximální síly nutné k utržení ND vývodu v experimentu.

Přesto, že společnost BOSCH DIESEL s.r.o. je s experimentem spokojena, průběh experimentu není příliš směřodátný. Jejím základem je hledání závislostí jednotlivých parametrů odporového svařování, přičemž dva parametry byly konstantní a třetí se měnil. Výsledkem takto nastaveného experimentu jsou 3 úsečky v prostoru (viz obr. 6.5), které se ani nemusí protínat. Z tohoto důvodu nejsou výsledky experimentu úplně přesné. Aby bylo dosaženo optimálních hodnot parametrů, musel by být zvolen jiný typ experimentu. Jednou z možností je statistická metoda „Plánovaný experiment“. Touto metodou je možné najít optimální řešení pro nalezení 3 parametrů odporového svařování v trojrozměrném prostoru.



Obr. 6.5 Vynesení jednotlivých hodnot experimentu do 3D grafu.

7 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Cílem této diplomové práce bylo stabilizovat proces svařování konkrétního ND vývodu, a to z důvodu jeho častých výpadků a vzniků neshodných kusů. Tyto problémy měly výrazný vliv na zhoršení produktivity svařovací linky a také na růst nákladů na výrobu tohoto typu railu. Následující část práce obsahuje vyhodnocení dopadů provedených změn.

7.1 Snížení výpadků procesu

Náklady, související s výrobou neshodných kusů, způsobují firmě nemalé finanční ztráty. V současnosti dosahují výpadky procesu, způsobená geometrií ND vývodů, průměrné hodnoty 10 % celkové výroby. Změna konstrukce ND vývodu by tuto hodnotu eliminovala na nulu. Při prodejní ceně jednoho vyrobeného kusu railu cca 17 eur (pro rok 2017), činí při současném kurzu 27 Kč za euro finanční úspora na jednom kusu 459 Kč. Při stávajícím průměrném množství 650 vyrobených kusů za měsíc, dosahuje úspora připadající na vyřazené neshodné kusy hodnoty 29 835 Kč. Tato hodnota je součin počtu vyrobených neshodných dílů a ceny za jeden vyrobený rail.

7.2 Časová úspora

Při výrobě railů je z důvodu finančních úspor snaha ze strany výrobního oddělení snížit výrobní čas na minimum. Čas, který je promarněn při výrobě neshodných dílů způsobuje firmě nemalé finanční ztráty. Výrobní čas railu s původní konstrukcí ND vývodu je 29 vteřin. Při průměrné výrobě 65 neshodných dílů (10% z celkového vyráběného množství) je tak ztraceno 31,5 min. (součin výrobního času 1 kusu a průměrného množství neshodných dílů).

7.3 Úspora nákladů nových svařovacích elektrod

Během výroby se seřizovač snaží nastavit svařovací parametry tak, aby bylo zamezeno výrobě neshodných kusů. Tyto změny v nastavení mohou vést ke zvýšení tepla v místě svaru, ale i mezi komponentou a elektrodou. To má za následek "propálení" svařovacích elektrod, které musí být vyměněny. Tato nehoda se stává průměrně 3 krát během výroby jedné dávky. Náklady na nákup jedné sady svařovacích elektrod dosahují částky 5 860 Kč. Celková částka pak tedy dosahuje 17 580 Kč.

7.4 Časová úspora výměny elektrod a opětovného uvolnění

Pokud dojde k vyhoření elektrod, je nutné zastavit celou linku. Při této nucené odstávce probíhá výměna zničených svařovacích elektrod za nové a po vyměnění musí seřizovač znovu uvolnit stanici odporového svařování. Teprve poté je možné znovu zahájit výrobu. Čas na výměnu elektrod a opětovné uvolnění není standardizován, proto se může lišit případ od případu. Průměrná doba se však pohybuje okolo 60 min. Během této doby by bylo možné vyrobít 124 kusů railů, což je podíl průměrné doby na opětovné uvolnění a výrobního času 1 kusu. Tato hodnota se dá pomocí ceny railu přepočítat na finanční částku 56 916 Kč. Během výroby jedné dávky dojde průměrně ke třem takovýmto odstávkám, náklady jsou tedy trojnásobné, tj. 170 748 Kč.

7.5 Časové využití dělníka

Obsluhu svařovací linky tvoří 2 lidé. Při odstavení linky z důvodu "propálení" elektrod dochází k pracovní nevytíženosti těchto pracovníků, kteří jsou stále placeni. Hodinová mzda pracovníka je přibližně 150 Kč/h. Náklady na mzdu pracovníka při odstávce svařovací linky jsou 900 Kč. Tato hodnota je součinem počtu odstávek, doby odstávky, počtu pracovníků a hodinové mzdy pracovníka.

7.6 Celková úspora

Pokud nenastane jiná nehoda (porucha stroje, výpadek proudu, ...), lze novou konstrukcí ND vývodu, navrženou v této práci, dosáhnout, součtem všech předchozích úspor, celkových finančních úspor téměř 249 000 Kč. Roční úspory při výrobě jedné dávky měsíčně dosahují hodnoty 2 988 000 Kč. Při změně designu ND vývodu je možné ušetřit přibližně 3 miliony korun ročně.

7.7 Náklady na výrobu ND vývodu s novou konstrukcí

Při vytváření nové konstrukce ND vývodu nedošlo k žádným zásadním změnám, proto cena výroby této komponenty nijak nevzrostla. Po vytvoření změny designu bylo nutné vytvořit i výkres nového designu ND vývodu. Náklady spojené s vystavením a realizací této změny se pohybují v řádech jednotek korun, tj. oproti úsporám je tato hodnota zcela zanedbatelná.

8 DISKUSE VÝSLEDKŮ

8.1 Výsledky výpočtů ohybové trhací zkoušky

Pro potřebu výpočtů byly komponenty, podrobené ohybové trhací zkoušce, nahrazeny prutovou soustavou. Následnými výpočty byly u této soustavy vypočítány hodnoty VVU a to pro dva druhy zatěžování, osamělou působící sílu a liniové zatížení. Výsledky výpočtů obou případů se shodují. Síla působící v místě svaru a v místě uložení railu je v obou případech rovna 15 kN a ohybový moment v těchto místech je v obou případech roven 165,75 Nm. Dále byly provedeny výpočty v průběhu experimentu, kdy se mění působíště zatížení. Velikost momentů však s menším se ramenem působící síly klesá.

Dále byl proveden výpočet ohybového napětí v místě svaru, které je $\sigma_{onom} = 831,8 \text{ MPa}$, a také smykového napětí v místě svaru, rovno $\tau = 397,89 \text{ MPa}$. Pomocí těchto dvou hodnot bylo možné provést výpočet redukovaného napětí podle podmínky HMM (von Mises) a podmínky maximálního smykového napětí. Výpočet redukovaného napětí von Misesa byl ověřen počítačovým programem Abaqus a porovnán s vypočtenou hodnotou (viz tabulka 3).

Tabulka 3 Porovnání vypočítaných a programem stanovených hodnot napětí

	$\sigma_{redHMM} [\text{MPa}]$
Analytický výpočet	1 080,2
Počítačový program Abaqus (přibližné hodnoty)	600 1151,2

Z tabulky je patrné, že výsledky neodpovídají vypočteným hodnotám. Tento fakt je způsobený zjednodušením svařených prvků na prutovou soustavu a zanedbáním některých vrubových koncentrátorů napětí, které mohou mít vliv na takto výrazný rozdíl hodnot.

V poslední části byl proveden výpočet posunutí v průběhu ohybové trhací zkoušky. Zkoumány byly dvě místa a to koncová část ND vývodu a trubka railu. Hodnota posunutí nízkotlakého vývodu dosáhla v tomto případě hodnoty 0,071 mm. Tato hodnota se také liší od reálných naměřených hodnot, které dosahují přibližně 0,20 mm. Posunutí trubky railu (ohnutí) dosáhlo při výpočtu velikosti 1,1 mm. Tuto hodnotu není možné porovnat, jelikož není způsob, jak ji v reálném procesu změřit. Nicméně tato hodnota není tak velká, aby došlo k porušení railu.

8.2 Výsledky experimentu

Experiment byl rozdělen na dvě části. Cílem první části bylo určit vzájemnou závislost a optimální hodnoty jednotlivých parametrů odporového svařování. V druhé části bylo při nastavení těchto optimálních parametrů svařeno 30 kusů railů, které byly následně změřeny a otestovány trhací ohybovou zkouškou a zkouškou provaření svaru. Z výsledku bylo zjištěno, že všechny svařené kusy splňují zákaznické požadavky.

8.3 Úspora

Díky všem navrženým změnám by mělo být ušetřeno přibližně 3 000 000 Kč ročně. Tyto úspory jsou počítány s průměrnými hodnotami společnosti Bosch Diesel s.r.o., které se pro konkrétní typ railu může nepatrně lišit. Z výsledků ovšem vyplývá, že celková finanční i časová úspora je vysoká a náklady na vystavení změny téměř zanedbatelné.

ZÁVĚR

Tato práce byla realizována na základě požadavku společnosti BOSCH DIESEL s.r.o. a jejím cílem byla stabilizace výrobního procesu konkrétního typu railu. Stávajícím problémem, který nastává v současnosti při jeho výrobě, je vznik neshodných kusů v oblasti svaru ND vývodu a railu, kdy nedochází k provaření celé plochy svaru. Neshodné kusy je nutné vyřadit z dalšího zpracování, čímž vznikají podniku nemalé náklady.

V první řadě bylo nutné provést analýzu výrobního procesu, v rámci které byla zjištěna příčina problému, spočívající ve špatné geometrii ND vývodu. Na základě tohoto zjištění byl proveden návrh na změnu konstrukce nízkotlakého vývodu, která spočívala v úpravě výstupkové části této komponenty.

V další fázi byly se vzorky, vyrobenými na základě nově navržené konstrukce, provedeny experimenty, jejichž cílem bylo stanovení optimálních svařovacích parametrů pro tento nově navržený typ ND vývodu.

Experimentálně zjištěné hodnoty byly ověřeny pomocí ohybové trhací zkoušky a kontrolou otisku svaru. Tyto výsledky potvrdily správnost celkového nastavení procesu a způsobilost zajistit stabilní a plynulý proces výroby svařovaného railu. Provedené zkoušky prokázaly, že síla potřebná k utržení ND vývodu téměř o polovinu přesáhla zákazníkem požadovanou hodnotu, což svědčí o kvalitě výrobku. Dále na základě provedené kontroly otisků svaru lze konstatovat, že všechny kusy splnily požadavky minimální hodnoty provaření, nastavené interním předpisem.

Navržením nového designu komponenty ND vývodu a nalezením optimálních svařovacích parametrů bylo dosaženo cíle kladeného na tuto diplomovou práci. Výsledkem tohoto návrhu je finanční a časová úspora výrobního oddělení, potažmo podniku, která ročně činí okolo 3 000 000 Kč. Náklady nutné na provedení změny jsou ve vztahu k očekávaným úsporám zanedbatelné, tudíž návratnost této investice je okamžitá. Tímto návrhem je možné uspořit ročně až 42 hodin, díky kterým lze plánovat další výrobu. Způsobilost eliminovat neshodné kusy má pozitivní dopad i na pozici firmy ve vztahu k jejím klientům. Přesto, že během celého procesu výroby dochází k průběžným kontrolám vyrobených railů, je zde možnost úniku vadného kusu a s tím související reklamace, ze strany odběratelů. Nelze vyloučit ani možnost, že bude takový kus namontován do motoru automobilu. Zde je pak vysoké riziko vzniku defektu, které může mít za následek materiálové škody, a v horším případě i ztrátu na lidských životech. Zodpovědnost by v tomto případě dopadala také na společnost BOSCH DIESEL s.r.o. Eliminací neshodných kusů se toto riziko úniku snižuje a bezpečnost koncového zákazníka roste.

Výše uvedené skutečnosti vypovídají o přínosu pro společnost BOSCH DIESEL s.r.o., který může být dosažen aplikací výsledku, zjištěného v rámci této diplomové práce, do výroby.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] http://www.bosch.cz/cs/cz/our_company_7/our-company-lp.html vid. 3. 3. 2017
- [2] http://www.wissen.de/sites/default/files/styles/article_image_gallery/public/coremedia/substanzen/bilder/online/4/1/4136811.jpeg?itok=fQHIdABr vid. 3. 3. 2017
- [3] KRÁLÍK, Jan a Robert Bosch GmbH. Bosch v České republice. 2007. Praha, BB Partner, s.r.o., neprodejné.
- [4] Robert Bosch GmbH. Global Impressions of Bosch. 2011. Stuttgart, Corporate Communications Robert Bosch GmbH, ©2011, neprodejné.
- [5] <http://www.opravarenstvi.cz/en/injection-equipment/repair-of-injection-pumps-4> vid. 3. 3. 2017
- [6] Bosch Diesel Jihlava spol. s.r.o. Firemní a školící materiály.
- [7] https://de.picclickimg.com/d/w1600/pict/151577911087_/Hochdruckpumpe-20-TDI-VW-AUDI-SEAT-SKODA.jpg vid. 27. 3. 2017
- [8] http://www.wtryskiwacz.com/galeria/DS72_CP4_2_High_pressure_Pump_734x350.jpg vid. 27. 3. 2017
- [9] Ing. HANÁK, S. Systém vstřikování s tlakovým zásobníkem Common Rail pro vznětové motory. Robert Bosch odbytová spol. s.r.o., Praha – 2005. ISBN 80-903132-7-2.
- [10] Ing. CHLUP, M. Systém vstřikování nafty s tlakovým zásobníkem Common Rail. Robert Bosch odbytová spol. s.r.o., Praha – 1999. ISBN 80-902585-6-5.
- [11] Bosch GmbH. interní materiály.
- [12] SHIGLEY J.E., MISCHKE, CH.R., BUDYNAS, R.G., HARTL, M., VLK, M. Konstruování strojních součástí. Vysoké učení technické v Brně, VUTIU, 2010. ISBN 8021426292.
- [13] PTÁČEK, L. Nauka o materiálu I. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, tisk FINAL TISK Olomoučany, 2001, 1. vyd., 516 s. ISBN 80-7204-193-2.
- [14] <http://www.bolzano.cz/cz/sortiment-a-sluzby/hutni-materialy/dodaci-program-sortiment> vid. 17. 4. 2017
- [15] http://cdn.emag.com/fileadmin/user_upload/content/machines/turning-machines/modular-vl/vl-2/p_b746_vl-2_turning_chucked-component_overview.jpg vid. 7. 5. 2017
- [16] <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=SNMG%2012%2004%2008-PR%204235> vid. 7. 5. 2017
- [17] <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=C4-DSKNR-27050-12> vid. 7. 5. 2017
- [18] <https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=5506327&fnum=2066&mapp=IS&GFSTYP=M&srch=1> vid. 7. 5. 2017

- [19] <https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=3603135&fnum=2448&mapp=IS&GFSTYP=M&srch=1> vid. 7. 5. 2017

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CNC	[-]	číslicové řízení
CP	[-]	vysokotlaké čerpadlo systému Common rail
DBV	[-]	omezovací tlakový ventil
DMC	[-]	datový maticový kód
DRV	[-]	vysokotlaký redukční ventil
ECU	[-]	elektronická řídící jednotka
Exot	[-]	speciálně vyráběný typ railu
HD	[-]	vysokotlaký ventil
HFR	[-]	za tepla kovaný rail
HMH	[-]	podmínka redukováného napětí (von Mises)
LWR	[-]	laserově svařovaný rail
ND	[-]	nízkotlaký vývod
NOK	[-]	špatně svařený kus
OK	[-]	dobře svařený kus
PE	[-]	řadové čerpadlo
PFM	[-]	jednoválcové čerpadlo
Rail	[-]	vysokotlaký zásobník paliva
RDS	[-]	snímač tlaku
Renner	[-]	běžně vyráběný typ
TBT	[-]	Vrtací stroj
TEF	[-]	technické oddělení společnosti Bosch Diesel s.r.o.
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
VP30	[-]	rotační čerpadlo
VVÚ	[-]	vnitřní výsledné účinky

Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	průměry komponent
E	[GPa]	Youngův modul

F	[N]	zatěžující síla
F_D	[N]	doplňková síla
F_{max}	[N]	maximální síla
I	[A]	dohřívací proud
I_{ef}	[A]	svařovací proud
J_y	[m ⁴]	kvadratický moment plochy průřezu
L	[mm]	délka railu
M_{omax}	[Nm]	maximální ohybový moment
M_o	[Nm]	ohybový moment
N	[N]	normálová reakční síla
R_M	[MPa]	mez pevnosti
S	[mm ²]	plocha průřezu
T	[N]	tečná reakční síla
a	[mm]	vzdálenost mezi railem a čelistí
b	[mm]	délka čelisti
q	[N]	liniové zatížení
p	[bar]	tlak
t_w	[ms]	svařovací čas
u_D	[mm]	vzdálenost posunutí při ohybové trhací zkoušce
v	[mm/min]	rychlost zatěžování
W_o	[m ³]	modul průřezu v ohybu
σ_{Onom}	[MPa]	nominální napětí
σ_{redHMH}	[MPa]	Redukované napětí dle HMH
σ_{redτ}	[MPa]	Redukované napětí max τ
τ	[MPa]	Smykové napětí v ohybu
π	[-]	Ludolfova konstanta

SEZNAM PŘÍLOH

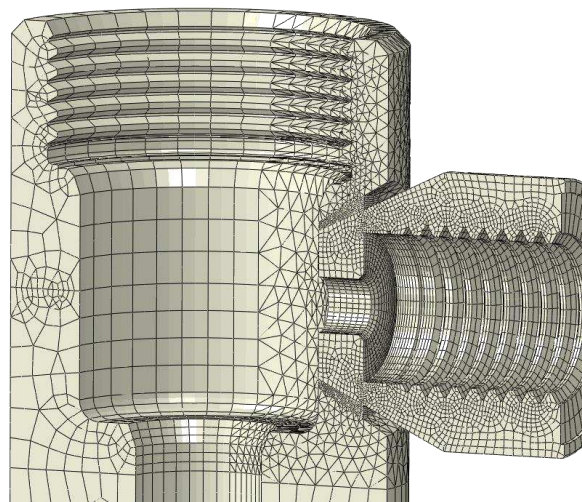
Příloha 1	Materiály a simulace ohybové zkoušky pomocí počítačového softwaru
Příloha 2	Parametry obráběcích nástrojů a VBD
Příloha 3	Dokumenty – protokoly ohybové trhací zkoušky, fotky otisku svaru finální části experimentu
Příloha 4	Porovnání naměřených hodnot s požadavky zákazníka

PŘÍLOHA 1:

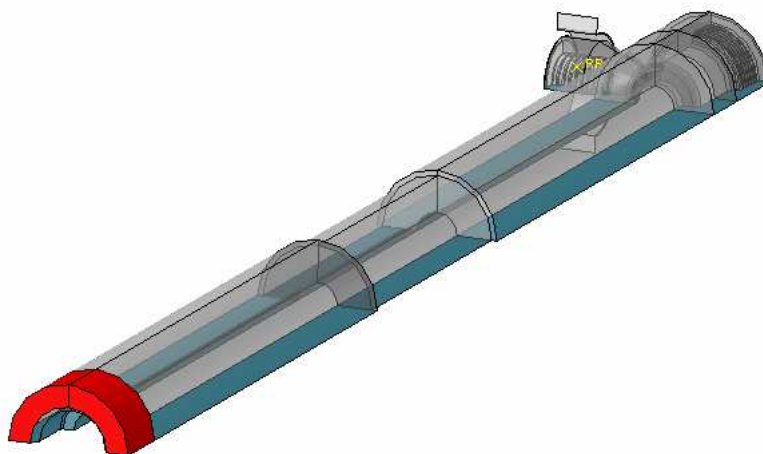
Materiály a simulace ohybové zkoušky pomocí počítačového softwaru.



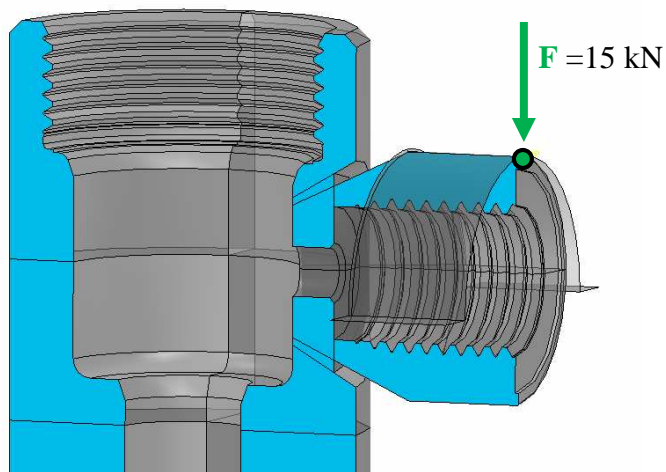
Model railu s nastavenou sítí.



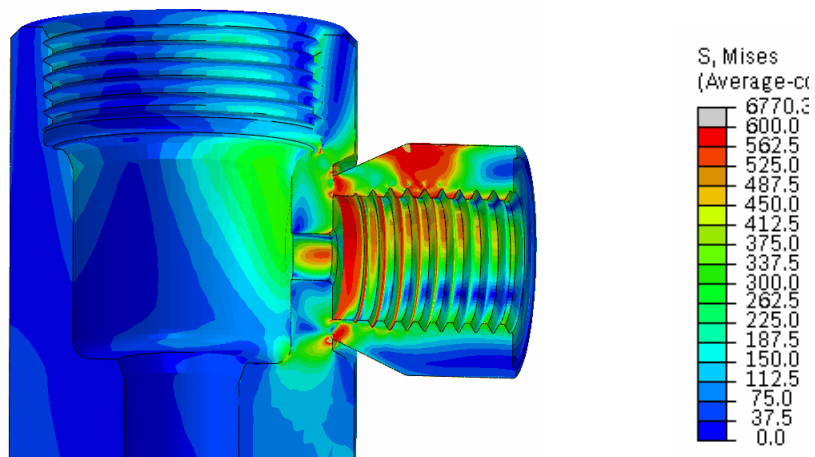
Detail svarového spoje railu s ND vývodem.



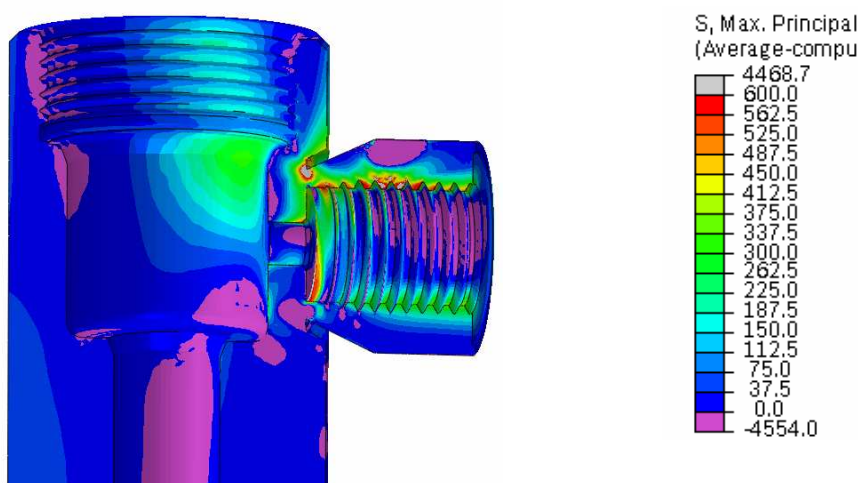
Oblast nastavení vazby.



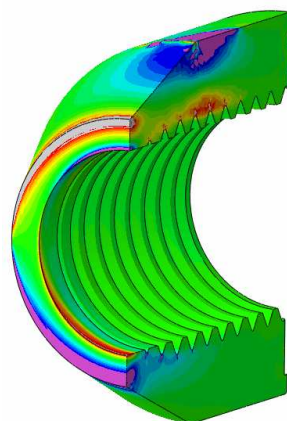
Nastavení zatěžování.



Redukované napětí podle von Mises (HMH) [MPa].



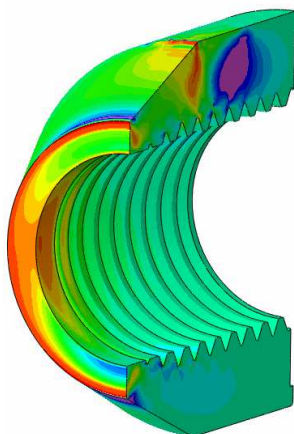
Největší hlavní napětí [MPa].



S, S22
(Average-con)

4069.2
600.0
525.0
450.0
375.0
300.0
225.0
150.0
75.0
0.0
-75.0
-150.0
-225.0
-300.0
-375.0
-450.0
-525.0
-600.0
-4922.7

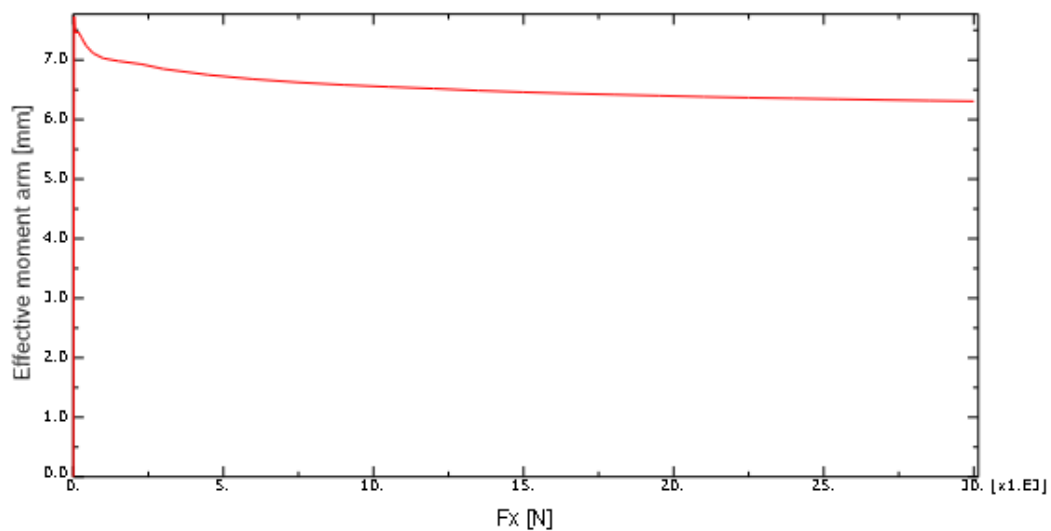
Normálové napětí σ_{yy} [MPa], $F = 15$ kN.



S, S12
(Average-con)

3807.3
400.0
362.5
325.0
287.5
250.0
212.5
175.0
137.5
100.0
62.5
25.0
-12.5
-50.0
-87.5
-125.0
-162.5
-200.0
-568.2

Smykové napětí τ_{xy} [MPa], $F = 15$ kN.



(Skutečné) rameno momentu působící síly [mm].

PŘÍLOHA 2:

Parametry obráběcích nástrojů a VBD

SNMG 12 04 08-PR 4235

Břítové destičky T-Max® P pro soustružení

Břítová destička

Vhodný nástroje (267)

Jedná se o obecné znázornění, které by mělo sloužit pouze pro přiblížení vzhledu.



Údaje o produktu

Typ operace (CTPT)	Velikost a tvar destičky (CUTINTSIZESHAPE)
Roughing	SN1204
Průměr vepsané kružnice (IC)	Kód tvaru břitové destičky (SCI)
12,7 mm	S
Účinná délka břitu (LE)	Poloměr rohu (RE)
11,9 mm	0,794 mm
Přítomnost hladicího břitu (WEP)	Orientace (HAND)
false	N
Třída (GRADE)	Základní materiál (SUBSTRATE)
4235	HC
Povlak (COATING)	Tloušťka destičky (S)
CVD Ti(C,N)+Al2O3+TiN	4,763 mm
Hlavní úhel hřbetu (ANI)	Hmotnost prvků (WT)
0 deg	0,009 kg
Stav životnosti (LCS)	Identifikace vydaného balíku (RELEASEPACK)
Nově v nabídce	07.1
Dostupnost (TIBPAvailability)	
Dostupné	

Počáteční hodnoty

	ap 4 mm(0.7-7)		ap 4 mm(0.7-7)
	fn 0.35 mm/r(0.2-0.5)		fn 0.35 mm/r(0.2-0.5)
	vc 195 m/min(240-170)		vc 170 m/min(205-140)

Parametry hrubovací výměnné břitové destičky [16].

C4-DSKNR-27050-12

Řezná jednotka T-Max® P pro soustružení

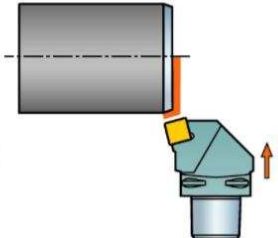
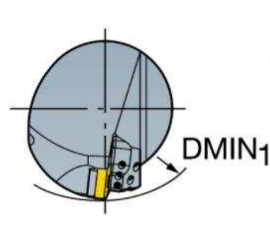
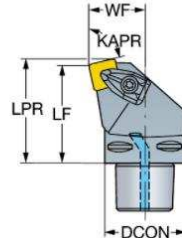
Nástroj

Vhodný břitové destičky (541)

Vhodný produkty - směrem ke stroji (381)

Náhradní/obsažené díly (7)

Jedná se o obecné znázornění, které by mělo sloužit pouze pro přiblížení vzhledu.



Údaje o produktu

Úhel břitu nástroje (KAPRI)

75 deg

Část 2 identifikátorů rozhraní řezného prvku

(CUTINTMASTER)

SNMG 120408

Maximální úhel zahlubování (RMPK)

10 deg

Úhel tělesa na straně obrobku (BAWS)

0 deg

Maximální vyložení (DHX)

50 mm

Možnost tlumení (DPC)

false

Kód provedení výstupu pro řeznou kapalinu (CXSC)

6: decentral exit with nozzles, adjustable

Spojovací průměr (DCON)

40 mm

Funkční délka (LFI)

50 mm

Funkční výška (HFI)

0 mm

Kód materiálu tělesa (BMC)

Steel

Hmotnost prvku (WT)

0,46 kg

Identifikace vydaného balíku (RELEASEPACK)

02.2

Úhel hlavního břitu nástroje (PSIR)

15 deg

Adaptivní rozhraní ve směru stroje (ADINTMS)

Coromant Capto (bolt and segment clamping) -size C4

Minimální průměr otvoru (DMIN1)

110 mm

Úhel tělesa na straně stroje (BAMS)

0 deg

Orientace (HAND)

R

Kód provedení vstupu pro řeznou kapalinu (CNSC)

3: axial concentric and radial entry

Tlak řezné kapaliny (CPI)

10 bar

Vyčnívající délka (LPR)

53,05 mm

Funkční šířka (WF)

27 mm

Moment (TQ)

3,9 Nm

Identifikace hlavní destičky (MIIDM)

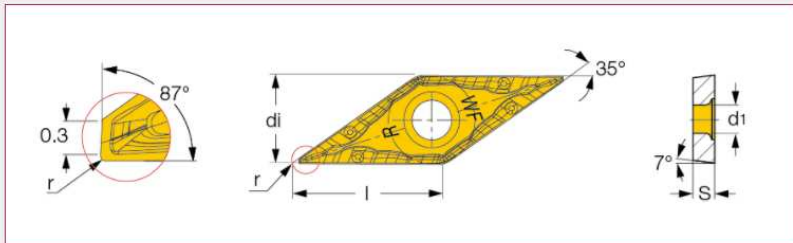
SNMG 12 04 08

Stav životnosti (LCS)

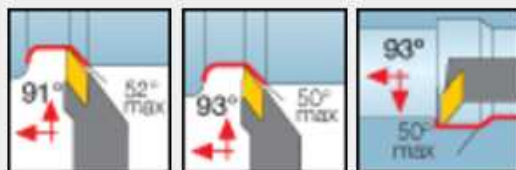
Nově v nabídce

Parametry hrubovacího nástroje (držáku) [17].

ISO-Turning Family : **VCET-WF** 35° rhombic wiper insert used for finishing operations at high feeds. Three to five times better surface finish compared to standard turning inserts at the same feeds. Designation : **VCET 1103005R-WF**



Right-hand shown



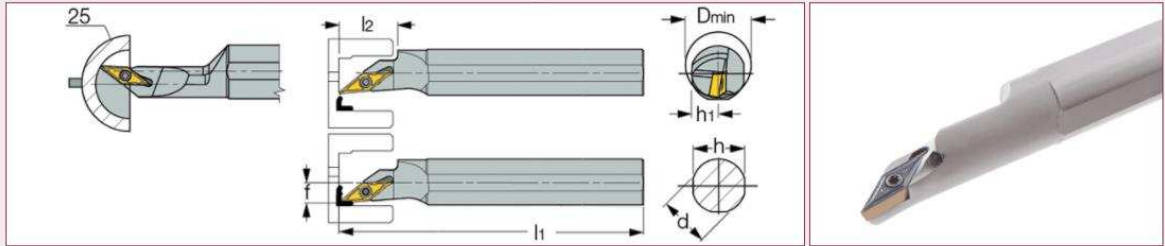
I	di	S	r	d1	R/L
11.10	6.35	3.18	0.05	2.90	R
ft(min)	ft(max)	ap(min)		ap(max)	
0.01	0.20	0.05		4.00	
Catalog No		Grade & Vc		Alternative	
5506327 I		<u>IC907</u>			
Primary View File(2D)				Model (3D)	
<u>DXF</u>				<u>STP</u>	

Cutting Speed for: VCET 1103005R-WF IC907 - 5506327

ISO	Material	Material Description	Material Condition	Cutting Speed Recommendations
P 1	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel <0.25%C.	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel <0.25%C.	Annealed :125	120-200 m/min
P 2	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.25%C.	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.25%C.	Annealed :190	100-170 m/min
P 3	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel <0.55%C.	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel <0.55%C.	Quench and tempered. :250	80-150 m/min
P 4	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.55%C.	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.55%C.	Annealed :220	90-160 m/min
P 5	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.55%C.	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.55%C.	Quenched & tempered. :300	80-130 m/min
P 6	Low alloy & cast steel (less than 5% of alloying elements).	Low alloy & cast steel (less than 5% of alloying elements).	Annealed :200	80-150 m/min
P 7	Low alloy & cast steel (less than 5% of alloying elements).	Low alloy & cast steel (less than 5% of alloying elements).	Quenched & tempered :275	70-130 m/min
P 8	Low alloy & cast steel (less than 5% of alloying elements).	Low alloy & cast steel (less than 5% of alloying elements).	Quenched & tempered :300	60-120 m/min
P 9	Low alloy & cast steel (less than 5% of alloying elements).	Low alloy & cast steel (less than 5% of alloying elements).	Quenched & tempered :350	50-100 m/min
P 10	High alloyed steel, cast steel and tool steel.	High alloyed steel, cast steel and tool steel.	Annealed :200	80-130 m/min
P 11	High alloyed steel, cast steel and tool steel.	High alloyed steel, cast steel and tool steel.	Quenched & tempered :325	50-100 m/min
P 12	Stainless steel and cast steel	Stainless steel and cast steel	Ferritic/martensitic :200	170-265 m/min
P 13	Stainless steel and cast steel	Stainless steel and cast steel	Martensitic :240	140-245 m/min

Parametry dokončovací výměnné břitové destičky [18].

ISO-Turning Family : S/A-SVJCR/L Screw lock boring bars carrying the 35° rhombic inserts with 7° clearance. S - Steel shank; A - Steel shank with coolant hole. Designation : A16R SVJCR-11



d	l1	l2	h	h1
16.00	200.00	47.5	15.0	8.0
f	D min	Ga°	Gr°	Coolant
8.50	20.00	-5	-5	Y

Parametry dokončovacieho nástroje (držáku) [19].

PŘÍLOHA 3:

Dokumenty – Měřicí protokoly, protokoly ohybové trhací zkoušky, fotky otisku svaru finální části experimentu

MERICI PROTOKOL Calypso		
Číslo výkresu	Vez axial 1	Průběh ND
Jméno 2139	Vez radial	
Obrabecí stroj 5923	Pozice 1	
Díl číslo 1	Poznámka:	

Name	ID	Actual	Nominal	pos Tol	neg Tol	Diff	<-- -->
VYROVNANI_X	X	0.0000	0.0000			0.0000	
VYROVNANI_Y	Y	0.0000	0.0000			0.0000	
VYROVNANI_Z	Z	0.0000	0.0000			0.0000	
VYROVNANI_PROSTOR_1	W1	0.0000	0.0000			0.0000	
VYROVNANI_PROSTOR_2	W2	0.0000	0.0000			0.0000	
PM_401	X	364.9540	365.0000	0.5000	-0.5000	-0.0460	-

ND_

M_494_ND	W	183.8272	184.0000	1.0000	-1.0000	-0.1728	-
PM_ND_Y	Y	29.0264	28.9000	1.0000	-1.0000	0.1264	-
M_485_RAIL	X	345.6866	345.8000	0.2000	-0.2000	-0.1134	---
PM_485_NAHORE	X	345.6615	345.8000	0.2000	-0.2000	-0.1385	---
PM_Z_ND	Z	-0.0305	0.0000	0.2000	-0.2000	-0.0305	-
PM_ND_XY	W2	-0.1059	0.0000	0.5000	-0.5000	-0.1059	-
M_486	DIN Sym	0.0611	0.0000	0.4000		0.0611	-

MERICI PROTOKOL Calypso

Číslo výkresu	Vez axial	Průběh
	1	ND
Jméno	Vez radial	
275		
Obrabecí stroj	Pozice	
5923	1	
Díl číslo 30	Poznámka:	

Name	ID	Actual	Nominal	pos Tol	neg Tol	Diff	<-- -->
VYROVNANI_X	X	0.0000	0.0000			0.0000	
VYROVNANI_Y	Y	0.0000	0.0000			0.0000	
VYROVNANI_Z	Z	0.0000	0.0000			0.0000	
VYROVNANI_PROSTOR_1	W1	0.0000	0.0000			0.0000	
VYROVNANI_PROSTOR_2	W2	0.0000	0.0000			0.0000	
PM_401	X	364.9541	365.0000	0.5000	-0.5000	-0.0459	-

ND_

M_494_ND	W	183.9976	184.0000	1.0000	-1.0000	-0.0024	-
PM_ND_Y	Y	28.9787	28.9000	1.0000	-1.0000	0.0787	-
M_485_RAIL	X	345.6791	345.8000	0.2000	-0.2000	-0.1209	---
PM_485_NAHORE	X	345.6469	345.8000	0.2000	-0.2000	-0.1531	----
PM_Z_ND	Z	-0.0443	0.0000	0.2000	-0.2000	-0.0443	-
PM_ND_XY	W2	-0.1364	0.0000	0.5000	-0.5000	-0.1364	--
M_486	DIN Sym	0.0887	0.0000	0.4000		0.0887	-

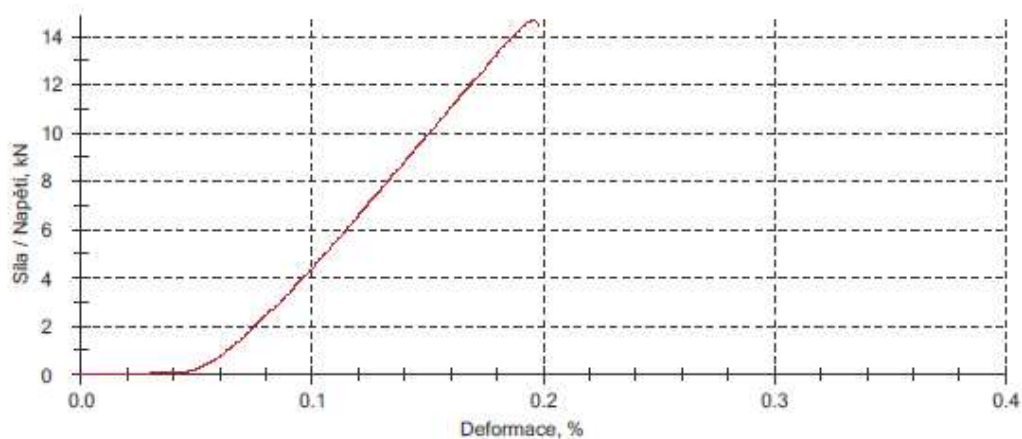
Zkušební protokol

Číslo objednávky :
 Zkoušel(a) : BERAN
 Materiál : L1-ND-ZK1-2
 Předzatižení : 20 N
 Rychlost zkoušky : 50 mm/min

Výsledky zkoušek:

č.	F_{max} kN	s_{max} mm
1	14,7	0,8

Grafické záznamy série:



Statistika:

Série n = 1	F_{max} kN	s_{max} mm
\bar{x}	14,7	0,8
s	-	-
v [%]	-	-

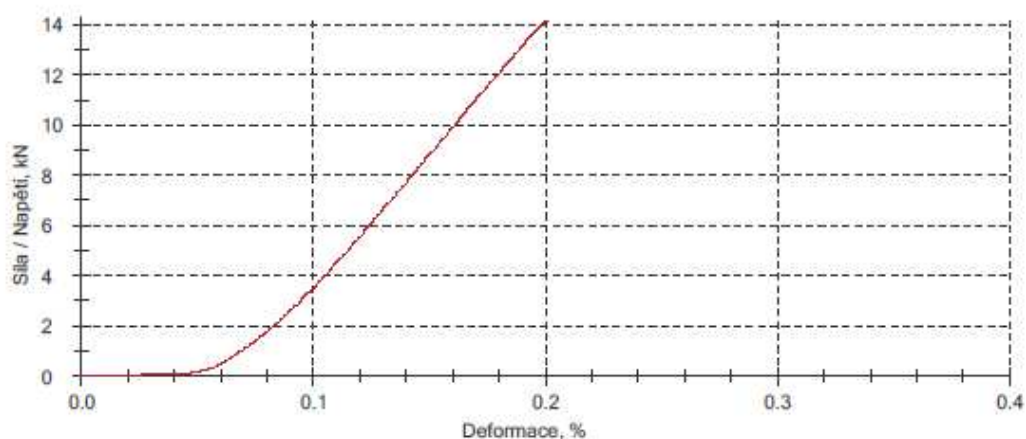
Zkušební protokol

Číslo objednávky :
 Zkoušel(a) : BERAN
 Materiál : L1-ND-ZK1-2
 Předzatížení : 20 N
 Rychlost zkoušky : 50 mm/min

Výsledky zkoušek:

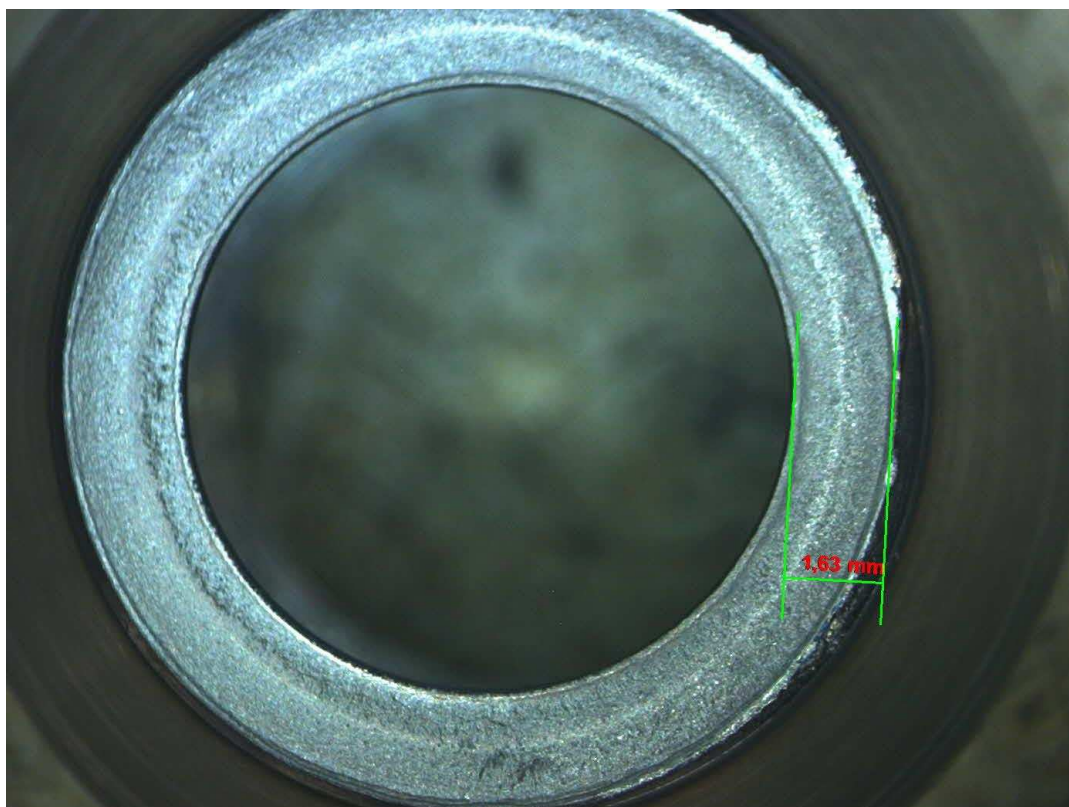
č.	F_{max} kN	s_{max} mm
1	14,2	0,8

Grafické záznamy série:

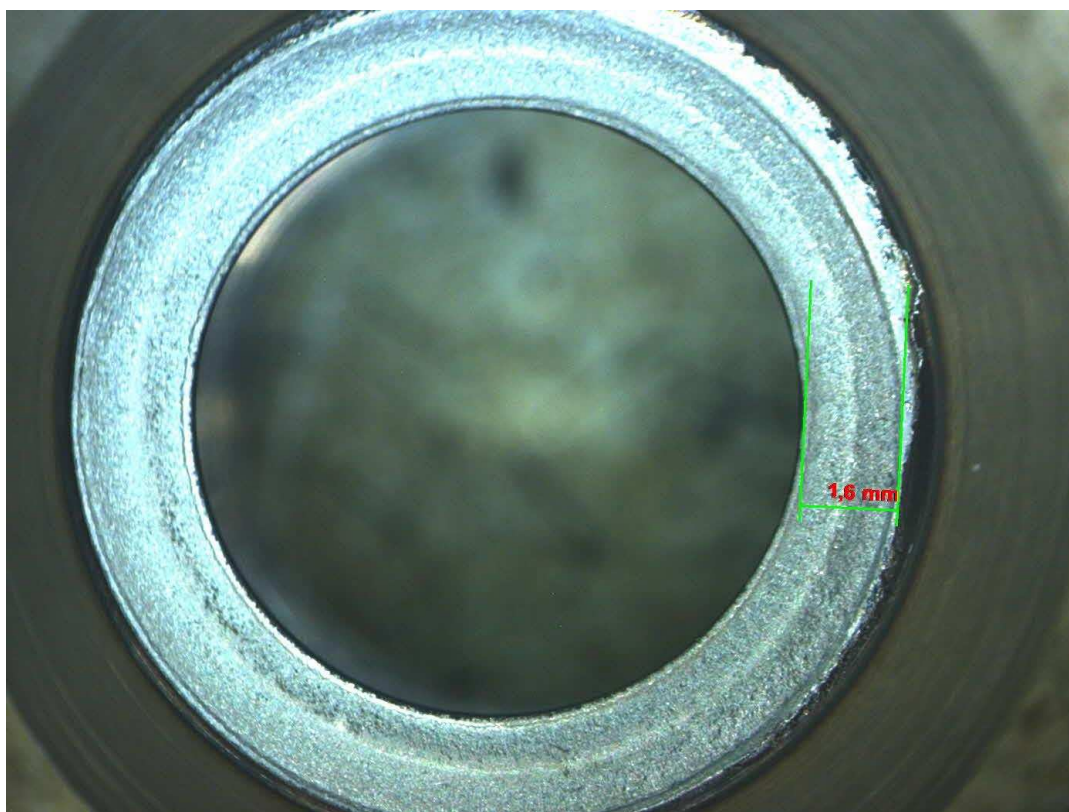


Statistika:

Série	F_{max} kN	s_{max} mm
n = 1		
\bar{x}	14,2	0,8
s	-	-
v [%]	-	-



Otisk svaru ND vývodu prvního kusu finálního experimentu.



Otisk svaru ND vývodu třicátého kusu finálního experimentu.

PŘÍLOHA 4:

Porovnání naměřených hodnot s požadavky zákazníka

Tabulka Naměřené hodnoty svařených railů

Kus	úhel natočení ND $184 \pm 1^\circ$	výška ND $28,9 \pm 0,2$ [mm]	šířka provaření 1,5 [mm]	Fmax min. 10 [kN]
1	183,827	29,026	1,63	14,704
2	183,972	29,099	1,64	14,018
3	184,014	28,945	1,70	15,625
4	183,919	29,018	1,66	16,093
5	183,938	28,978	1,62	16,325
6	183,840	29,042	1,60	13,271
7	183,824	28,976	1,68	14,569
8	183,698	29,046	1,63	14,570
9	183,954	28,992	1,62	15,347
10	183,791	28,995	1,62	15,701
11	183,878	29,080	1,66	14,044
12	183,867	29,088	1,68	13,440
13	183,685	28,998	1,70	13,623
14	183,594	29,016	1,67	14,551
15	183,806	29,050	1,66	14,236
16	183,895	29,026	1,65	14,362
17	183,971	29,062	1,61	14,393
18	183,933	29,057	1,61	15,058
19	183,859	29,026	1,61	15,543
20	183,786	29,018	1,72	14,831
21	184,000	28,927	1,58	16,078
22	183,809	29,056	1,73	15,654
23	183,856	28,975	1,58	15,051
24	183,881	28,980	1,67	15,399
25	183,885	29,000	1,67	15,047
26	183,975	29,065	1,62	15,112
27	183,793	29,019	1,66	13,322
28	183,904	28,954	1,63	15,462
29	183,998	28,979	1,60	14,159
30	183,874	29,052	1,78	14,401
Průměrné hodnoty:	183,867	29,018	1,65	14,800
Nejnižší hodnota:	183,594	28,927	1,58	13,271
Nejvyšší hodnota:	184,014	29,099	1,78	16,325

Všechny naměřené hodnoty jsou v toleranci a splňují požadavky zákazníků.